

Universität Zürich
Zentrum für Zahnmedizin
Vorsteher: Prof. Dr. med. dent. Hämmerle
Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie
Direktor: Prof. Dr. med. dent. T. Attin

Arbeit unter Leitung von PD Dr. med. dent. A. Wiegand

Reduktion der Erosion und Erosion/Abrasion von Schmelz und Dentin durch Titantetrafluorid, Zirkoniumtetrafluorid, Hafniumtetrafluorid und Aminfluorid: Eine In-situ-Studie

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Barbara Hiestand
von Freienbach SZ

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. T. Attin
Zürich 2011

Inhalt

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	2
3	Literaturübersicht	5
3.1	Struktur der Zahnhartsubstanz	5
3.1.1	Schmelz	5
3.1.2	Dentin	7
3.2	Pathologische Zahnhartsubstanzverluste	10
3.2.1	Erosion	11
3.2.1.1	Ätiologie dentaler Erosionen	11
3.2.1.2	Pathogenese	12
3.2.1.3	Erscheinungsbild	14
3.2.2	Abrasion	16
3.3	Erosionsprophylaxe	17
3.3.1	Fluoridapplikation	17
3.3.2	Tetrafluoride	20
3.3.3	Ziel der Studie	22
4	Versuchsaufbau	23
5	Material und Methode	25
5.1	Herstellung der Proben	25
5.2	Fluoridherstellung und Behandlung	26
5.3	Versuchsdurchführung	27
5.4	Profilometrische Auswertung	28

5.5	Statistische Auswertung	29
6	Ergebnisse	31
7	Diskussion	35
7.1	Material und Methode	35
7.2	Diskussion der Ergebnisse	38
7.3	Schlussfolgerung	41
8	Literaturverzeichnis	42
9	Herstellerverzeichnis	57
10	Danksagung	62
11	Curriculum Vitae	63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4.1 Schematische Darstellung des Versuchsablaufs	24
Abbildung 6.1 Schmelzabtrag der fluoridierten Proben und der Kontrollproben unter erosiven und erosiven/abrasiven Bedingungen	32
Abbildung 6.2 Dentinabtrag der fluoridierten Proben und der Kontrollproben unter erosiven und erosiven/abrasiven Bedingungen	33
Abbildung 6.3 Schmelz- und Dentinabtrag	34

1 Zusammenfassung

Ziel der Studie: Das Ziel der vorliegenden In-situ-Studie war es, die Auswirkung von Titantetrafluorid (TiF_4), Zirkoniumtetrafluorid (ZrF_4), Hafniumtetrafluorid (HfF_4) und Aminfluorid (AmF) auf die Erosion und Erosion/Abrasion von Schmelz und Dentin zu untersuchen.

Material und Methode: Zehn Probanden haben an acht Versuchszyklen (je drei Tage) teilgenommen. In jedem Zyklus wurden zwei bovine Schmelz- und zwei bovine Dentinproben intraoral in einer Schiene fixiert getragen. Eine Schmelz- und eine Dentinprobe wurden vor Versuchsbeginn mit TiF_4 , ZrF_4 , HfF_4 oder AmF (alle 0.5M F) behandelt, während die anderen beiden Proben unfluoridiert blieben und somit als Kontrolle dienten. Alle Proben wurden entweder nur erodiert (Erosion, 4x täglich je 90 s) oder erodiert und abradert (Erosion + Abrasion, 2x täglich, 30 s/Probe). Die Zahnbürstabrasion wurde mit einer elektrischen Zahnbürste sowie fluoridierter Zahnpasta 90 min nach der ersten und der letzten Erosion mit 1.2 N Anpresskraft durchgeführt. Der Schmelz- bzw. Dentinabtrag wurde profilometrisch (μm) bestimmt und mittels ANOVA und gepaartem t-Test statistisch ausgewertet.

Resultate: Alle fluoridierten Gruppen (Schmelz: Erosion: 0.4 - 0.5 μm , Erosion + Abrasion: 0.8 - 1 μm ; Dentin: Erosion: 0.6 - 1.2 μm , Erosion + Abrasion: 2.4 - 2.8 μm) zeigten signifikant weniger Substanzabtrag als die Kontrollgruppen (Schmelz: Erosion: 0.8 - 1 μm , Erosion + Abrasion 1.2 - 1.3 μm ; Dentin: Erosion: 1.8 - 2.3 μm , Erosion + Abrasion: 3 - 4.1 μm). Der Substanzabtrag von erodierten Proben war signifikant geringer als der Zahnhartsubstanzverlust von erodierten und abraderten Proben. Die protektive Wirkung der Fluoride war nicht signifikant unterschiedlich und wurde zumeist durch zusätzliche Abrasion nicht signifikant reduziert.

Schlussfolgerung: Tetrafluoride vermindern den Zahnhartsubstanzverlust durch Erosion sowie Erosion und Abrasion in situ und sind ebenso wirksam wie AmF .

2 Einleitung

Neben Karies stellen Zahnhartsubstanzerosionen und –abrasionen die Hauptursache für den Verlust von Zahnhartsubstanzen dar. Erosionen werden als oberflächlicher, durch chemische Prozesse hervorgerufener Zahnhartsubstanzverlust definiert, der ohne Beteiligung von Mikroorganismen entsteht (Eccles 1982b).

Ursächlich ist meist der übermässig hohe Konsum saurer Getränke bzw. häufiger Kontakt von Magensäure mit den Zähnen, z.B. durch Erbrechen oder Reflux (Fuller et al. 1977; Lazarchik et al. 2009).

Unter Abrasion versteht man einen mechanisch verursachten Zahnhartsubstanzverlust. Der Zahnabrieb wird dabei durch eine zusätzliche Komponente (z.B. Zahnpastenbestandteile, Staub oder Nahrungsbestandteile) hervorgerufen (Levitch et al. 1994).

Die Entstehung und Progression von Erosionen kann durch eine intensive Fluoridierung mit z.B. Aminfluorid oder Natriumfluorid, reduziert werden (Imfeld 1996b). In den vergangenen Jahren wurden vermehrt metallionen-haltige Fluoridverbindungen, wie z.B. Titantetrafluorid (TiF_4), untersucht. In einigen Studien konnte ein grösserer protektiver Effekt auf die Entstehung von Erosionen festgestellt werden als durch Auftragen von Natrium- oder Aminfluorid (Tezel et al. 2002; Schlueter et al. 2007; Hove et al. 2007a). Magalhães et al. (2009a; 2008b) zeigten in vitro, dass eine einmalige Applikation von 4% TiF_4 eine Erosion auf Schmelz reduzieren kann, indem es wahrscheinlich eine schützende, lackähnliche Oberflächenschicht bildet. Im Gegensatz dazu zeigte eine einmalige Applikation von 4% TiF_4 keine Schutzwirkung in situ (Magalhães et al. 2008a). Hove et al. (2008)

wiederum zeigten, dass eine regelmässige Applikation von TiF_4 eine Erosion nahezu komplett verhindern kann.

Im Alltag werden Zahnhartsubstanzen nicht nur Erosionen, sondern auch abrasiven Prozessen (wie z.B. dem Zähnebürsten) ausgesetzt. Eine Fluoridapplikation führt in der Regel zur Ausbildung von oberflächlichen Präzipitaten, die idealerweise auch gegenüber Abrasionen resistent sein sollten. Dies würde die Zahnhartsubstanz länger vor erosiven Angriffen schützen. Wegehaupt et al. (2009) konnten zeigen, dass durch das Zähnebürsten die kalziumfluoridhaltige Deckschicht, die nach Applikation von NaF oder AmF gebildet wird, zumeist teilweise entfernt wird. In einer anderen Studie wurde gezeigt, dass Proben die mit TiF_4 behandelt wurden, eine geringere Abrasionsstabilität aufwiesen als mit AmF behandelte Proben (Vieira et al. 2006). Es kann spekuliert werden, ob die lackähnliche Oberflächenschicht weniger abrasionsresistent ist, sodass die unter der Oberfläche liegende Schicht leichter abgetragen wird (Wiegand et al. 2010). Untersuchungen zur Abrasionsstabilität von Fluoridpräzipitaten auf Schmelz- oder Dentingewebe liegen bislang jedoch kaum vor.

Bislang wurden die meisten Studien in vitro durchgeführt, wobei meistens nur Schmelz untersucht wurde und nur wenige Informationen bezüglich Dentin vorliegen. Die protektive Wirkung von Tetrafluoriden ist deshalb immer noch umstritten und bedarf weiterer Studien, vorzugsweise unter klinischen Bedingungen.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es daher, die präventive Wirksamkeit von Tetrafluoriden auf Erosion und kombinierte Erosion/Abrasion auf Schmelz und Dentin zu analysieren. Es wurden die folgenden drei Hypothesen getestet:

1. Tetrafluoride reduzieren Erosionen und Erosionen/Abrasionen in situ
2. Tetrafluoride sind ebenso wirksam wie AmF
3. Der protektive Effekt der verschiedenen Fluoride ist auf Erosion und Erosion/Abrasion nicht signifikant unterschiedlich

3 Literaturübersicht

3.1 Struktur der Zahnhartsubstanz

3.1.1 Schmelz

Zahnschmelz wird von den Ameloblasten gebildet. Diese scheiden eine Schmelzmatrix aus, die mineralisiert und ausreift. Hauptbestandteil der anorganischen Matrix bilden Millionen kleiner Kristallite, die Kalziumphosphate, welche in ihrer Form variieren können (Driessens 1982). Die während der Mineralisation stattfindende Kristallisation von Kalzium-Phosphat-Verbindungen und das anschliessende Wachstum der Kristalle werden als präeruptive Schmelzreifung bezeichnet. Dabei bleiben Mikroporositäten zwischen den Kristallen und Ionendefekte in ihren Gitterstrukturen zurück.

Nach dem Zahndurchbruch wird diese Porosität und die fehlerhaften Stellen durch die posteruptive Schmelzreifung weitestgehend ausgeglichen. Dabei kommt es zu einer Aufnahme von Mineralien (insbesondere von Kalzium und Phosphat) aus dem umgebenden Milieu (Speichel, Nahrungsmittel). Der Zahnschmelz unterliegt nach seiner Bildung keinem zellulären Reparaturmechanismus (Hellwig et al. 2006).

Ausgereifter Zahnschmelz ist das am stärksten mineralisierte und härteste Zellprodukt im menschlichen Körper. Seine Zusammensetzung und Eigenschaften unterscheiden sich deutlich von denen des Dentins, des Wurzelzementes und des Knochens (Angmar 1970). Der grösste Teil des Wassergehaltes im ausgereiften Schmelz ist an Apatitkristallite gebunden (Hydratationsschale), und nur etwa $\frac{1}{4}$ des Wassergehaltes ist frei in der organischen Substanz verfügbar. Die organische Matrix des ausgereiften Schmelzes besteht vorwiegend aus löslichen und unlöslichen

Proteinen und wenig Kohlenhydrat- und Lipidanteilen (Stack 1967). Der grösste Teil dieser Matrix entfällt auf das innere Drittel des Schmelzmantels und tritt morphologisch in Form von Schmelzbüscheln und Lamellen auf (Weatherell et al. 1974; Weatherell et al. 1968).

Der kristalline Anteil des Schmelzes besteht vorwiegend aus Kalzium und Phosphor, sowie geringen Anteilen von Natrium, Magnesium, Chlor und Kalium. Röntgendiffraktionsanalysen zeigen, dass das Schmelzmineral im Allgemeinen als Hydroxylapatit vorliegt, dessen Hydroxylgruppen durch Fluor oder Chlor substituiert werden können (Lappalainen et al. 1981).

Kalzium und Phosphor liegen in einem Verhältnis von 1:1.2 als Apatitverbindung in Form kleiner Kristalle vor. Die Apatitkristalle des Schmelzes sind im Querschnitt annähernd hexagonal und stellen sich in der Seitenansicht als kleine Stäbchen dar. Ein einheitliches Charakteristikum der Schmelzkristalle ist ihre – im Vergleich zu anderen biologischen Hartgeweben – erhebliche Grösse. Sie sind durchschnittlich 160 nm lang, 40-70 nm breit und 26 nm dick. Etwa 100 Schmelzkristalle liegen im Querschnitt zusammengefügt und bilden die sog. Schmelzprismen bzw. Schmelzstäbe, die sich von der Schmelz-Dentin-Grenze bis fast zur Schmelzoberfläche erstrecken. Der Verlauf der Prismen ist sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung wellenförmig. Alle Kristalle besitzen eine Hydratationsschale und sind von einer Schicht aus Proteinen und Lipiden umgeben.

Die Schmelzoberfläche frisch durchgebrochener Zähne ist von einer 0.1-5 µm dicken Membran bedeckt, die gegen äussere Einflüsse wie z.B. Säureeinwirkung sehr widerstandsfähig ist. Diese Membran wird in der Mundhöhle beim Kauen schnell

abradiert. Sie wird jedoch durch ein erworbenes Schmelzoberhäutchen (acquired pellicle) ergänzt oder ersetzt (Hellwig et al. 2006).

Der Zahnschmelz ist nicht nur der härteste, sondern auch der sprödeste Bestandteil unseres Körpers. Entsprechend seiner Mineraldichte ist die Schmelzoberfläche härter als tiefere Schmelzschichten. Er besitzt zwar eine graubläulich-gelbliche Eigentönung, ist aber im Wesentlichen transparent. Die Zahnfarbe wird, je nach Schmelzdicke, von der gelblichen Eigenfarbe des Dentins und dem Grad der Transparenz und Homogenität des Schmelzes (Grad und Dichte der Mineralisation) bestimmt (Waters 1971). Zahnschmelz ist in begrenztem Umfang permeabel, deswegen könnten im Schmelz, der als zellfreies Mineralgefüge keinem physiologischen Metabolismus unterliegt, dennoch chemische Veränderungen stattfinden, die zur Aufrechterhaltung oder Änderung seiner chemischen Zusammensetzung beitragen (Schroeder 2000).

3.1.2 Dentin

Der grösste Teil des menschlichen Zahnes besteht aus Dentin. Die Pulpa wird von Dentin umgeben. Das koronale Dentin ist von Schmelz, das Wurzel dentin von Zahnzement bedeckt. Dentin ist im Gegensatz zu Schmelz ein lebendes, weniger stark mineralisiertes Gewebe. Es besteht zu ca. 70 Gew.% aus anorganischem, zu ca. 20 Gew.% aus organischem Material und zu ca. 10% aus Wasser. Der grösste Teil der organischen Matrix bilden Kollagen und kollagenartige Verbindungen (91-92%). Der anorganische Anteil besteht ebenso wie der des Zahnschmelzes hauptsächlich aus Phosphat und Kalzium. Es gibt aber auch im Dentin verschiedene Spurenelemente. Das anorganische Material liegt ebenso wie im Zahnschmelz, Zahnzement und im Knochen in kristalliner Form als Apatit beziehungsweise amorphes Kalziumphosphat vor. Die Kristalle des Dentins sind allerdings erheblich

kleiner und dünner als im Zahnschmelz (Länge: 20 nm; Breite: 18.20 nm; Dicke: 3.5 nm). Sie liegen zudem nicht in Prismenform geordnet vor, sondern sind je nach Art des Dentins mehr oder weniger dicht gepackt. Dentin ist hochelastisch und verformbar. Es ist weniger hart als Schmelz und besitzt eine gelbliche Farbe. Da Dentin sehr „porös“ ist, weist es eine wesentlich höhere Permeabilität als Schmelz auf.

Dentin wird während der gesamten Lebensdauer eines Zahnes gebildet. Das Dentin, welches bis zum Abschluss des Wurzelwachstums entsteht, wird Primärdentin genannt. Wird Dentin anschliessend regulär gebildet, so heisst es Sekundärdentin. Tertiärdentin (Reizdentin, irreguläres Sekundärdentin, Reparationsdentin) wird aufgrund eines Reizes (z.B. Attrition, Erosion, Karies, iatrogene Schäden) lokal als Abwehrbarriere gebildet. An der Grenze zur Pulpa liegt das nicht vollständig ausgereifte, hypomineralisierte Prädentin. Es folgen nach aussen eine Zone der Mineralisation (Zwischendentin), das zirkumpulpale Dentin und das weniger stark mineralisierte Manteldentin (Hellwig et al. 2006). Das Manteldentin ist eine etwa 30 µm dicke Schicht des Dentins und weist keine Wachstumslinien auf. Die Grenzfläche zwischen Manteldentin und Schmelz erscheint als arkadenförmige Wellenlinie, deren Amplitude und Tiefe sehr variabel ist. Im Höckerbereich ist sie meist deutlich ausgeprägt, nahe der Schmelz-Zement-Grenze oft nicht vorhanden (Whittacker 1978; Mjör 1966).

Odontoblasten sind spezifische, mit Fibroblasten ontogenetisch und funktionell verwandte Bindegewebszellen, die das Dentin bilden und später unterhalten. Sie entstehen aus der Zellpoulution der Zahnpapille, sobald der Zahnkeim das späte Glockenstadium erreicht hat (Hörstadius 1950; Le Douarin 1982). Odontoblasten liegen an der inneren Dentinoberfläche. Sie sind nach ihrer Differenzierung nicht

mehr teilungsfähig, können den Dentinmantel aber durch sekundären, zum Teil auch tertiären Dentinanbau stärken. Ihr Fortsatz durchzieht das gesamte Dentin vom pulpanahen Prädentin bis an die Schmelz-Dentin- bzw. die Dentin-Zement-Grenze (Brännström et al. 1972). Entsprechend der sehr variablen Dicke des Dentins kann der Fortsatz bis zu 5000 µm lang sein. Sein Durchmesser beträgt etwa 4-5 µm bevor er ins Prädentin eintritt und ist innerhalb des Prädentins grösser als im pulpanahen und pulpafernen Dentin (Kaye et al. 1966). Das Zytoplasma der Odontoblastenfortsätze wird von zahlreichen, längs zur Fortsatzachse verlaufenden Filamenten und Mikrotubuli durchzogen und enthält Mitochondrien (Baume 1980).

Der Raum, den die Odontoblastenfortsätze einnehmen, hat die Form langer Röhren, die das mineralisierte Dentin durchziehen. Diese mit dem Zytoplasma der Fortsätze und einem Gel gefüllten Röhren heissen Dentinkanälchen. Ihr Verlauf ist im Kronendentin S-förmig, im Wurzeldentin eher geradlinig angelegt (Baume 1980; Tronstad 1973).

Die Dentinkanälchen sind von peritubulärem Dentin umgeben. Dieses kleidet die Kanalwände aus. Es ist homogen, dicht und am stärksten von allen Dentinstrukturen mineralisiert (Hellwig et al. 2006). Seine Hydroxyapatitkristalle sind hexagonal-prismatisch geformt und erscheinen als kleinste Plättchen (Schroeder et al. 1985). Es fehlt im Bereich des Interglobulardentins und Prädentins. Die Dicke des peritubulären Dentins hängt von der Lokalisation des entsprechenden Kanalanteiles im Dentin und vom Alter des Individuums ab (Mjör 1966; Mjör 1972). Intertubuläres Dentin trennt die Dentinkanälchen voneinander. Es ist weniger dicht mineralisiert und besteht zu 50% aus kollagenem Flechtwerk (Hellwig et al. 2006). Das Flechtwerk liegt quer zur Verlaufsrichtung der Dentinkanälchen und umgarnt diese (Schroeder 2000).

Alle Bereiche des Dentins, das Mantel-, zirkumpulpale, intertubuläre und peritubuläre Dentin sind mit Kalziumphosphatkristallen vom Typ des Apatits durchsetzt. Im peritubulären Dentin nehmen sie etwa 90%, im intertubulären Dentin etwa 50% des Dentinvolumens ein. (Schroeder 2000).

3.2 Pathologische Zahnhartsubstanzverluste

Die häufigste Erkrankung der Zahnhartgewebe ist Karies. Kariogene Mikroorganismen der Mundhöhle (Plaque) produzieren bei einem Überangebot an kariogenem Substrat (speziell niedermolekulare Kohlenhydrate) organische Säuren. Wirken diese lange genug auf die Zahnhartsubstanzen (Wirt) ein, entmineralisieren sie diese (Hellwig et al. 2006). Neben den kariös-bedingten Zahnschäden gibt es auch nicht-kariös-bedingte Zahnhartsubstanzverluste. Die nicht kariös-bedingten Substanzverluste werden unterteilt in Abrasion, Attrition, Abfraktion und Erosion. Abrasion ist als Zahnhartsubstanzverlust definiert, der durch Fremdkörperabrieb verursacht wird. Attrition ist definiert als Abrieb der Zahnhartsubstanzen durch direkten Kontakt antagonistischer oder benachbarter Zahnflächen. Als Abfraktion wird ein keilförmiger Defekt beschrieben, der oft im Bereich der Schmelz-Zement-Grenze lokalisiert ist (Imfeld 1996a). Die Form des keilförmigen Defekts ist im Zahnlängsschnitt annähernd dreieckig mit einer kurzen Fläche im koronalen Bereich. Die Ätiologie der keilförmigen Defekte ist bisher nicht abschliessend geklärt. So wird ein mechanisch-abrasiver Vorgang als Ursache angegeben (Hellwig et al. 2006). Das Ausmass des Defektes ist abhängig von der Stärke, der Dauer, der Richtung, der Frequenz und der Lokalisation der einwirkenden Kraft (Grippio 1991). Bei dentalen Erosionen handelt es sich um die chemische Auflösung der Zahnhartsubstanz durch direkte Säureeinwirkung ohne Einbezug von Bakterien (Wilder-Smith et al. 2009).

3.2.1 Erosion

3.2.1.1 Ätiologie dentaler Erosionen

Erosionen können in extrinsische und intrinsische Erosionen unterschieden werden. Extrinsische Ursachen umfassen Ernährung, Medikamente, berufliche Exposition oder Umwelteinflüsse (Imfeld 1996b).

Bei extrinsischen Erosionen werden Säuren durch den Konsum säurehaltiger Nahrungsmittel, z.B. frische Früchte, Fruchtsäfte, Softdrinks oder Essig zugeführt. Viele Getränke und Süßigkeiten enthalten Spuren von Ascorbinsäure, die ebenfalls als erosiv beschrieben wurde (Imfeld 1996b; Lussi et al. 2004a). Da der Konsum an Softgetränken zunimmt, kann das Phänomen der extrinsischen Erosionen immer häufiger beobachtet werden (Hawkes 2010).

Medikamente mit sauren Inhaltsstoffen, z.B. Acetylsalicylsäure, können ebenfalls Erosionen verursachen. Saure Medikamente in Form von Lutschtabletten steigern aufgrund der längeren Verweildauer im Mund das Risiko für dentale Erosionen (Rogalla et al. 1992). Babu et al. (2008) untersuchten Medikamente wie z.B. Salbutamol (pH 6.05), Paracetamol (pH 6.77) und Theophyllin (pH 7.71), auf deren erosiven Effekt. Unabhängig vom pH-Wert der Medikamente zeigten alle Präparate erosives Potential.

Verschiedene Berufsgruppen verzeichnen gehäuft Erosionen an Zahnhartsubstanzen. Beispielsweise sind Arbeiter in Batteriefabriken häufiger Schwefelsäuredämpfen ausgesetzt (Suyama et al. 2010). Dülgergil et al. (2007) konnten zeigen, dass frühere Arbeiter, die täglich Chromsäure einatmeten, ebenfalls häufiger Erosionen aufwiesen. Weitere Risikogruppen finden sich in der Chemieindustrie, der Weinkosterei und bei Profisportlern (Wiegand et al. 2007).

Gefährdet sind besonders Schwimmer, die in inkorrekt chloriertem Wasser schwimmen, sowie Athleten, die regelmässig erosive Sportgetränke zu sich nehmen (Lussi et al. 2006c).

Intrinsische Erosionen sind das Resultat endogener Säurezufuhr. Dabei kommt Magensäure durch Erbrechen, Regurgitation oder Reflux in Kontakt mit den Zähnen, wodurch zum Beispiel Patienten mit Anorexia oder Bulimia nervosa besonders häufig von Erosionen betroffen sind. Intrinsische Erosionen können aber auch durch somatische Ursachen hervorgerufen werden, dazu gehören Schwangerschaften, Alkoholabusus, gastrointestinale Fehlfunktion oder Dysfunktion, chronische Obstipation, Hiatus-Hernien, Duodenal- und Magengeschwüre sowie gastroesophageale Refluxkrankheiten (Imfeld 1996a). Der pH-Wert der Magensäure ist wesentlich tiefer als der kritische pH-Wert für Schmelz. Deswegen kann ein Magensäurekontakt mit den Zähnen über einen längeren Zeitraum zur Schädigung der Schmelzstruktur führen (Lazarchik et al. 2009).

3.2.1.2 Pathogenese

Normalerweise besteht in der Mundhöhle ein Gleichgewicht zwischen De- und Remineralisation. Ist die Säureeinwirkung stärker als die vorhandenen Reparaturmechanismen, entstehen Erosionen. Entscheidend für die Erosivität einer Säure sind der pH-Wert, die Art der Säure, die Häufigkeit und Frequenz des Säureangriffes, der Kalzium- und Phosphatgehalt und die Pufferkapazität der Säure.

Eisenburger et al. (2001) konnten zeigen, dass das Ausmaß der Erweichung der Zahnoberfläche pH-abhängig ist. Der kritische pH-Wert für Zahnschmelz liegt bei pH 5.2 - 5.7. Für Zement und Wurzeldentin liegt der kritische pH-Wert bei 6.2 - 6.7 (Hellwig et al. 2006). Larsen und Nyvad (1999) zeigten in einer In-vitro-Studie, dass

sich die Auflösung des Schmelzes logarithmisch umgekehrt proportional zum pH-Wert verhält. Getränke und Nahrungsmittel können trotz ähnlichen pH-Werten ein unterschiedliches erosives Potenzial aufweisen (Grenby 1996).

Neben dem pH-Wert einer Säure spielt auch die Art und die Einwirkdauer der Säure eine Rolle (Grenby 1996). Bei langer und häufiger Einwirkung starker Säuren entstehen irreversible Zahnhartsubstanzverluste (Hellwig et al. 2006). Die Pufferkapazität des Nahrungsmittels spielt ebenfalls eine Rolle für das Ausmass der erosiven Demineralisation. Eine höhere Pufferkapazität steigert die Demineralisation. Es müssen zusätzliche Ionen aus dem Mineralgefüge des Zahnes gelöst werden, um die Säure zu neutralisieren (Lussi et al. 2006b). Der Verlust der Zahnhartsubstanz wird beschleunigt, wenn zusätzlich zur Erosion abrasive Prozesse hinzukommen (Jaeggi et al. 1999). Die einzelnen chemischen Vorgänge, die zur Zahnerosion führen, sind komplex. Die Kristalle des Zahnschmelzes können erst durch direkten Säurekontakt aufgelöst werden oder, wenn es sich um eine chelatbildende Substanz handelt, Kalzium komplexieren. Das Herauslösen von Ionen aus der Zahnhartsubstanz führt automatisch zu einer pH-Wert-Anhebung an der Zahnoberfläche und der Säureangriff kann gestoppt werden, wenn keine neuen Säuren nachgeliefert werden (Hellwig et al. 2006). Trifft Flüssigkeit die Zahnoberfläche, muss sie zuerst die Pellikel durchdringen (Hellwig et al. 2006). Die Pellikel ist azellulär, primär bakterienfrei, bedeckt die Schmelzoberfläche und besteht aus Muzinen, Glycoproteinen und verschiedenen Enzymen (Dawes 2008; Lussi et al. 2008). Die Säure ist in der Lage, die schützende Pellikel zu schwächen, teilweise zu zerstören und letztendlich zu durchdringen (Noack 1989). Eine frisch entstandene Pellikel kann kaum als Diffusionsbarriere gegenüber einer erosiven Flüssigkeit dienen. Eine gereifte Pellikel kann jedoch den Diffusionsprozess herabsetzen. Ist die

Säureeinwirkung nur von kurzer Dauer und selten, kann die Zahnoberfläche durch die Mineralien des Speichels weitgehend natürlich remineralisiert werden, und es entsteht kein bleibender Defekt (Hellwig et al. 2006).

In physiologischen pH-Bereichen ist der Speichel eine an Hydroxylapatit übersättigte Lösung. Er stellt somit eine natürliche Remineralisation dar und kann während der Demineralisation herausgelöste Kalzium- und Phosphationen wieder einlagern (Hellwig et al. 2006). Dieses Phänomen kann man sich zu Nutze machen, indem man Kalzium- und Phosphatsalze zu Softgetränken hinzufügt und somit das erosive Potential herabsetzt (Lussi et al. 2006b; Hughes et al. 1999; Larsen et al. 1999). Der Speichel verfügt über mehrere Puffersysteme, unter anderem das Bikarbonat- und das Phosphatpuffersystem. Es handelt sich dabei um schwache Säuren und ihre dazugehörigen Salze, die mit den Protonen angreifender Säure reagieren und so pH-Schwankungen ausgleichen können (Thylstrup et al. 1994). In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass Patienten mit Erosionen meistens eine niedrigere Pufferkapazität aufweisen als Patienten, die keine Erosionen haben (Linkosalo et al. 1985; Järvinen et al. 1988; Gudmundsson et al. 1995). Patienten mit erhöhter Speichelfliessrate können Säuren besser abpuffern als solche, mit wenig stimuliertem Speichel.

3.2.1.3 Erscheinungsbild

Die Art der Aufnahme der erosiven Nahrungsmittel oder Getränke (schluckweise, saugend, mit/ohne Trinkhalm), die Dauer sowie die Lokalisation des Säureangriffes bestimmen das Erscheinungsbild der Erosionen (Millward et al. 1997; Edwards et al. 1998; Johansson et al. 2004). In den frühen Stadien sind Erosionen schwierig zu diagnostizieren. Solange die Erosion noch keine eindeutige Formveränderung oder Schmerzen aufweist, wird sie auch vom Patienten selber nicht wahrgenommen

(Lazarchik et al. 2009). Trotzdem ist die typische Schmelzstruktur bereits verändert. Im Bereich der Erosion fehlen, unabhängig vom Alter des Patienten, Perikymatien. Der Schmelz sieht glatt und matt glänzend aus (Hellwig et al. 2006). Die Schmelzoberfläche wird flächenhaft demineralisiert, wobei klinisch keine Erweichung feststellbar ist (Lussi et al. 1991; Järvinen et al. 1992). Der damit verbundene Zahnhartsubstanzverlust tritt als schüsselförmige, nicht verfärbte, flache Vertiefung mit abgerundeter Begrenzung auf (Eccles 1982b). Bei der Spätläsion ist bereits das Dentin freigelegt (Hellwig et al. 2006). Freiliegendes Wurzeldentin ist anfälliger für eine Demineralisation als Schmelz (Hoppenbrouwers et al. 1986). Ist der Zahnhartsubstanzverlust bis ins Dentin vorgedrungen, findet man eröffnete Dentinkanälchen, die häufig mit schmerzhaften Hypersensibilitäten einhergehen. Histologisch kann man eine wellige Dentinoberfläche inmitten der Läsion erkennen, sowie eine Wabenstruktur am Schmelzrand (Noack 1989). Zusätzlich wird Tertiärdentin gebildet, das oft nur in sehr lokalisierten Arealen an der Dentin-Pulpa-Grenzfläche gefunden wird (Schroeder 2000). Werden neben der Erosion abrasive Prozesse wirksam, wird der Substanzverlust an der Zahnoberfläche beschleunigt (Lussi et al. 1991; Järvinen et al. 1992).

Bei exogener Ätiologie treten Erosionen eher labial auf (Lussi et al. 1991; Järvinen et al. 1992), während sich intrinsische Ursachen in lingual lokalisierten Erosionen widerspiegeln (Järvinen et al. 1992). Ein typisches klinisches Bild bei Kontakt von Magensäure sind Erosionen auf der palatinalen Seite der Zähne (Bartlett 2006). Eine unterschiedlich ausgeprägte Pellikelbildung im Bereich des Zahnbogens könnte ebenfalls verantwortlich sein für die unterschiedliche Verteilung von Erosionen. So wiesen Zähne mit dicker Pellikelbildung (UK-Frontzähne lingual, UK-Seitenzähne lingual) eine geringere Erosionsbildung auf als Zähne mit dünner Pellikelbildung (OK-

Frontzähne palatinal) (Amaechi et al. 1999). Vestibuläre Erosionen zeigen im Anfangsstadium eine matte, später eine eingedellte und gestufte Oberfläche. Am marginalen Kronenrand bleibt jedoch eine Schmelzleiste bestehen. Plaquerückstände, welche eine Diffusionsbarriere gegen den Säureangriff bilden, können als Erklärung für die bestehende Schmelzleiste angesehen werden (Schweizer-Hirt et al. 1978). Das Sulkusfluid, welches mit einem pH-Wert von 7.5 bis 8.0 zu einer Neutralisation der Säuren im Gingivabereich führt, kann ebenfalls die Ursache für die verbleibende Schmelzleiste sein (Stephen et al. 1980). Die Progredienz ist neben der Lokalisation ein weiteres Unterscheidungsmerkmal. Es gibt ruhende, latente und aktive progrediente Formen. Bei aktiven, progredienten Läsionen laufen die Schmelzränder gegen das frei gelegte Dentin flach aus, und die Oberfläche weist histologisch eine Honigwabenstruktur auf, die an das Ätzmuster erinnert, welches bei der Schmelz-Ätz-Technik entsteht. Bei der ruhenden Läsion findet man häufig wulstige Schmelzränder, und die Honigwabenstruktur fehlt (Hellwig et al. 2006).

3.2.2 Abrasion

Abrasion ist als Zahnhartsubstanzverlust definiert, der durch Fremdkörperabrieb verursacht wird. Dieser Abrieb kann durch Nahrungsmittel erfolgen (Demastikation) oder berufsbedingt sein (z.B. Staub bei Bergarbeitern). Davon müssen sog. „Habits“ abgegrenzt werden. Es handelt sich hierbei um gewohnheitsmässiges Aufbeissen mit Fremdkörpern auf immer den gleichen Zähnen. Neben den genannten Abrasionsvorgängen gibt es auch Abrasionen durch Mundhygienemassnahmen. Die Hauptursache hierfür sind Zahnpasten mit stark abrasiven Putzkörpern in Verbindung mit falscher Putztechnik (Imfeld 2001; Grippo et al. 2004). Zahnabrasionen im zervikalen Bereich entstehen meist durch eine intensive Zahnpflege mit zu kräftiger

Anwendung der Zahnbürste. Der übermässige Gebrauch von Interdentalbürstchen oder Zahnstochern kann im Interdentalbereich eine Abrasion verursachen (König 1990).

Durch Erosionen werden die physikalischen Eigenschaften der Zahnoberflächen verändert. Erosive Demineralisationen weisen eine signifikante Reduktion der Mikrohärtigkeit der Zahnhartsubstanz auf, deswegen zeigen sich erodierte Zähne anfälliger auf mechanische Reize (Attin et al. 1997; Maupomé et al. 1999). Das Zähneputzen resultiert auf erodierter Oberfläche mit erhöhtem Substanzverlust (Yu et al. 2009).

3.3 Erosionsprophylaxe

Verschiedene Massnahmen werden zur Prävention der Erosion diskutiert (Imfeld 1996b):

1. Reduktion der Häufigkeit des Säurekontakts
2. Förderung der Speichelfliessrate
3. Erhöhung der Säureresistenz und Förderung der Remineralisation durch Fluoridapplikation
4. Chemischer Schutz durch Puffersubstanzen
5. Minimieren von Abrasionen
6. Mechanischer Schutz

3.3.1 Fluoridapplikation

Bei der Beschreibung der Schmelz-Fluorid-Wechselwirkung nach lokaler Fluoridapplikation müssen verschiedene Parameter wie pH-Wert, Fluoridkonzentration, Kontaktzeit mit der Zahnhartsubstanz, Art der Trägersubstanz,

Kationenwirkung und lokale Zusammensetzung der Zahnhartsubstanz berücksichtigt werden. Die antikariogene Wirkung der Fluoride ist auf zwei verschiedene Prinzipien zurückzuführen: Sie vermindern die Säurelöslichkeit und hemmen die Demineralisation bzw. fördern die Remineralisation (Hellwig et al. 2006). Fluoride können somit Karies sowohl vorbeugen als auch deren Verlauf aufhalten (Cha et al. 2010). Bei fast allen anorganischen und organischen Fluoridverbindungen ist das Fluoridion das eigentliche kariesprophylaktische Agens. Im demineralisierten Schmelz einer beginnenden Kariesläsion wird nach lokaler Applikation von Fluoridverbindungen erheblich mehr Fluorid aufgenommen als im gesunden Schmelz. Dabei spielt die Art der verwendeten Fluoridverbindung keine entscheidende Rolle. Um den kariostatischen Effekt von Fluoriden auszunutzen, ist es erforderlich, entweder erhebliche Mengen Kalziumfluorid zu etablieren (die Kalziumfluoridschicht dient ausschliesslich als eine Art Depot, aus dem Fluoridionen abgegeben werden) oder kleine Fluoridmengen häufig zu applizieren (z.B. in Form von Zahnpasten) (Hellwig et al. 2006).

Neben dem Schutz gegenüber Karies zeigen Fluoride auch protektiven Schutz gegenüber Erosionen. Im Schmelz können Erosionen durch Fluoridierung verringert werden (Poccio et al. 2010). Auch Ganss et al. (2001) konnten zeigen, dass Erosionen auf humanem Schmelz durch regelmässige Fluoridierung reduziert werden können. Im sauren Milieu werden Kalzium- und Phosphationen aus dem Zahnschmelz ausgefällt. Die ausgefallten Ionen verbinden sich mit den Fluoridionen und bilden eine schwer lösliche CaF_2 -Schicht auf der Schmelzoberfläche. Die CaF_2 -Präzipitate dienen als Fluoridreservoir bei einem Säureangriff. Wird der pH-Wert durch einen Säureangriff herabgesetzt, so werden Fluoridionen abgegeben, die hemmend auf die Demineralisation wirken (Rølla et al. 1993; Hellwig et al. 2006).

In verschiedenen Studien wurde die Säureresistenz von Dentin nach einer Fluoridbehandlung untersucht. Die Resistenz gegen Säureangriffe im Dentin nahm zu (Shannon et al. 1976; Dérand et al. 1982). In Studien von Tveit et al. (1983; 1985) wurde die Fluoridaufnahme an der Wurzeloberfläche in vitro und in vivo untersucht. Der höchste Fluoridgehalt im Dentin wurde durch ionisch gebundene Fluoride erreicht. Durch die Applikation von ionisch gebundenem Fluorid (z.B. Aminfluorid, Natriumfluorid) entsteht eine hohe Konzentration an lose gebundenem Fluorid an der Oberfläche. Durch die Diffusion in die Dentintubuli kann jedoch bis in eine Tiefe von 30 µm lose gebundenes Fluorid nachgewiesen werden (Laufer et al. 1981). Auch Dentin kann bei Vorliegen eines niedrigen pH-Wertes mehr Fluorid aufnehmen als im neutralen Milieu (Ten Cate et al. 2006). Ist die Konzentration hoch, der pH-Wert niedrig und viel Kalzium verfügbar, wird die Bildung von kalziumfluoridhaltigen Präzipitaten erleichtert (Rølla et al. 1990).

Wird Fluorid vor einer Säureeinwirkung auf die Zähne appliziert, so besteht die Möglichkeit, eine Initialerosion zu verhindern (Sorvari et al. 1994). Eine intensive Fluoridierung von Schmelz und Dentin wirkt präventiv auf einen Mineralverlust, der durch Säuren verursacht wird (Ganss et al. 2004). Durch regelmässige Fluoridierung kann zudem die Progression von Erosionen auf humanen Schmelz und Dentin reduziert werden (Ganss et al. 2001). Eine Applikation von hoch fluoridiertem Gel (12.500 ppm F⁻) ist allerdings deutlich wirksamer als die alleinige Verwendung von fluoridierter Zahnpasta (1.250 ppm F⁻) (Lagerweij et al. 2006). Der häufige Gebrauch von Fluoridgels und Fluoridmundspülungen in Kombination mit fluoridierter Zahnpasta ermöglichen die Minimierung von Zahnschmelzabrasionen sowie Erosionen (Lussi et al. 2006b).

3.3.2 Tetrafluoride

Titantetrafluorid (TiF_4) ist aus Studien zur Kariesprophylaxe bekannt. Hier zeigte sich, dass TiF_4 wirksam gegen die Entstehung von Karies eingesetzt werden kann (Magalhães et al. 2008b; Exterkate et al. 2007). Verschiedene Studien konnten ebenfalls einen inhibitorischen Effekt von TiF_4 auf dentale Erosionen nachweisen (Magalhães et al. 2009a; Wiegand et al. 2008c). Es konnte gezeigt werden, dass TiF_4 ebenso effektiv oder sogar effektiver ist als Natriumfluorid (NaF), Zinnfluorid (SnF_2) oder Aminfluorid (AmF), um Schmelz- und Dentinerosionen zu verhindern (Wiegand et al. 2010). Neben dem Fluorid ist der inhibitorische Effekt von TiF_4 auf Erosionen wahrscheinlich auch auf das Titan zurückzuführen. Titanionen sind in der Lage, Kalziumionen im Hydroxyapatit zu substituieren und besitzen die Fähigkeit, sich mit Phosphaten zu komplexieren. Dadurch kann eine stabile Titandioxid-Oberfläche entstehen (Magalhães et al. 2009b). Wahrscheinlich führt eine Applikation von TiF_4 auch zu einer erhöhten Fluoridaufnahme. Die Fluoridaufnahme wird dadurch erklärt, dass sich ein polyvalentes Metallion zu einem starken Fluoridkomplex formt. Dank dem vermehrten Fluorid kann die Demineralisation auf der Zahnhartsubstanz chemisch vermindert werden (Wefel et al. 1982). Durch die tiefen pH-Werte von TiF_4 -Lösungen scheinen die Fluoridionen den Schmelz tiefer zu penetrieren (Schlueter et al. 2007; Hove et al. 2006).

Wiegand et al. (2008b) konnten zeigen, dass neben dem TiF_4 auch Hafniumtetrafluorid (HfF_4) und Zirkoniumtetrafluorid (ZrF_4) den Zahnhartsubstanzverlust bei Erosionen verringern können. HfF_4 und ZrF_4 scheinen ähnlich wie TiF_4 zu wirken und auf der Oberfläche der Zahnhartsubstanz eine amorphe Schicht zu bilden (Clarkson et al. 1984b; Clarkson et al. 1984b). In einer Studie von Wiegand et al. (2008b) konnte gezeigt werden, dass Tetrafluoride

Erosionen verhindern können, sie wirkten jedoch effektiver im Dentin als im Schmelz. Ausserdem zeigte TiF_4 grössere Erfolge als HfF_4 und ZrF_4 . Dass TiF_4 , HfF_4 und ZrF_4 einen sehr hohen protektiven Schutz gegenüber eines Säureangriffes darstellen, zeigte auch Shrestha et al. (1972), wobei TiF_4 wirksamer war als HfF_4 und ZrF_4 .

Die genaue Wirkung von Tetrafluoriden ist aber nach wie vor umstritten, denn einige Studien fanden keinen protektiven Effekt gegenüber Erosionen oder Erosionen/Abrasionen (Magalhães et al. 2009a). Hjortsjö et al. (2009) zeigten, dass der Metalltyp, der pH-Wert und die Fluoridkonzentration eine Rolle in der Wirkung der Fluoride spielt. Es wurde in dieser Studie kein schützender Effekt für TiF_4 und NaF beobachtet. Der pH-Wert der Tetrafluoridlösung scheint eine entscheidende Rolle für deren Wirksamkeit zu spielen (Wiegand et al. 2009a). Schmelzerosionen konnten signifikant reduziert werden, wenn die TiF_4 -Lösung einen natürlichen pH-Wert von 1.2 aufwies, jedoch nicht, wenn der pH-Wert 3.5 betrug.

Wie Tetrafluoride auf Dentinerosionen wirken, ist schlechter untersucht als die Wirkung auf Schmelzerosionen. Magalhães et al. (2010) konnten zeigen, dass TiF_4 ebenso effizient ist wie NaF, um Dentinerosionen zu verhindern. Wiegand et al. (2008b) zeigten eine effektivere Verhinderung von Dentinerosionen durch TiF_4 als durch Aminfluorid (AmF).

Es liegen wenig Informationen über die Wirksamkeit von Tetrafluoriden auf kombinierte Erosion/Abrasion vor, sodass weitere Daten erforderlich sind, besonders unter klinischen Bedingungen.

3.3.3 Ziel der Studie

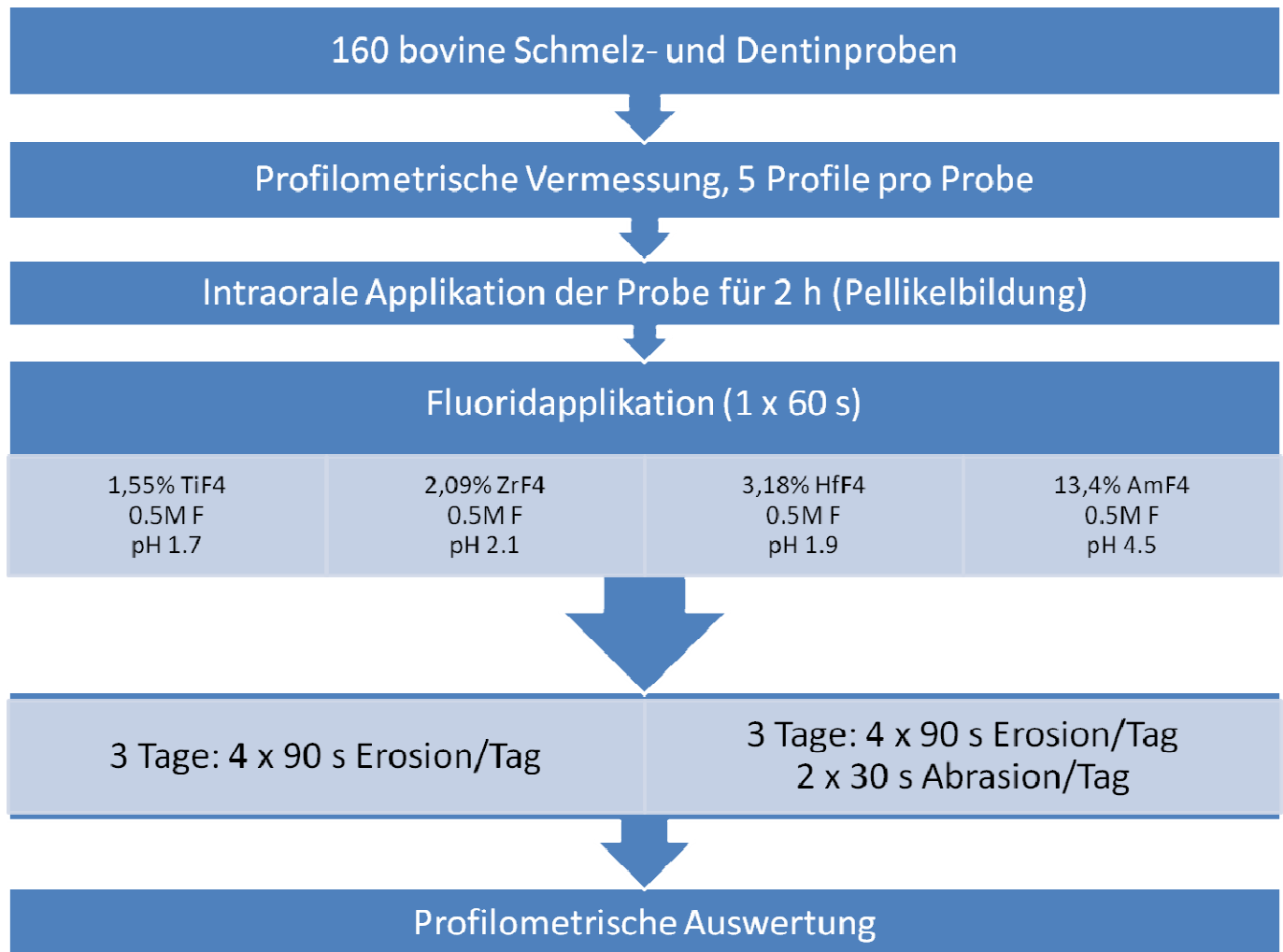
Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die Wirkung von TiF_4 , ZrF_4 , HfF_4 und Aminfluorid (AmF) auf Erosionen sowie Erosionen/Abrasionen auf Schmelz und Dentin zu untersuchen. Folgende Hypothesen wurden aufgestellt:

1. Tetrafluoride reduzieren Erosionen und Erosionen/Abrasionen in situ
2. Tetrafluoride sind ebenso wirksam wie AmF
3. Der protektive Effekt der verschiedenen Fluoride ist im Bezug auf Erosion und Erosion/Abrasion nicht signifikant unterschiedlich

4 Versuchsaufbau

160 bovine Schmelz- und Dentinproben werden in Keramikringe eingebettet, hochglanzpoliert und randomisiert auf zehn Versuchspersonen und acht Versuchszyklen verteilt. Es wird eine profilometrische Initialmessung durchgeführt. Jede Versuchsperson durchläuft acht Versuchszyklen mit je einer Dauer von drei Tagen. In jedem Zyklus werden zwei Schmelz- und zwei Dentinproben intraoral fixiert in einer Tiefziehschiene getragen. In jedem Zyklus werden eine Schmelz- und eine Dentinprobe zwei Stunden vor der ersten Erosion mit TiF_4 , ZrF_4 , HfF_4 oder AmF (alle 0.5 M F) für 60 s behandelt, während eine Schmelz- und eine Dentinprobe unbehandelt als Kontrollgruppe getragen werden. Die Proben werden viermal pro Tag für 90 s erodiert. Zusätzlich werden die Proben zweimal pro Tag für 30 s abradert. Die Abrasion wird durch eine elektrische Zahnbürste und durch eine fluoridierte Zahnpasta mit 1.2 N Anpressdruck 90 min nach der ersten sowie nach der letzten Erosion durchgeführt.

Nach drei Tagen werden die Proben erneut profilometrisch vermessen und die Differenzen zur Initialmessung bestimmt, so dass der entsprechende Schmelz- bzw. Dentinverlust statistisch ausgewertet werden kann.



5 Material und Methode

5.1 Herstellung der Proben

Für diese Studie wurden Schmelz- und Dentinproben aus extrahierten bovinen zweitdurchgebrochenen, unbeschädigten Unterkieferzähnen verwendet. Die Rinderzähne wurden nach der Extraktion gereinigt und in 0.1% Thymol gelagert. Nachfolgend wurden die Zähne an der Schmelz-Dentingrenze durch eine diamantierte Trennscheibe mit der Schneidemaschine getrennt (Buehler, ISOMET® low speed saw, Prüfmaschinen AG, Dietikon, Diamant Cut-off Wheel, Struers GmbH, Birmensdorf, Schweiz). Die Schmelzproben wurden aus der Zahnkrone und die Dentinproben aus der Zahnwurzel entnommen. Die Proben wurden zylinderförmig mit einem Durchmesser von 2.9 mm (Fräse: Körnung 50 µm, Eigenbau Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie, Zentrum für Zahnmedizin, Universität Zürich, Schweiz) mit einer Tourenzahl von 1100 U/min (Fräsmaschine: EMCO FB-2 1987, EMCO Maier GmbH, Hallein, Österreich) herausgefräst. Um die zylinderförmigen Schmelz- und Dentinproben einzubetten wurden Keramikringe (Aluminiumoxyd/Degussit®, Friatec AG/Degussa GmbH, Düsseldorf, Deutschland) mit einer Höhe von 3 mm zugeschnitten. Die Keramikringe wurden von einer Keramikröhre mit 6 mm Aussen- und 3 mm Innendurchmesser abgetrennt (Isomet Präzisionstrenner mit 0.8 mm Trennscheibe, Buehler GmbH, Düsseldorf-Hassels, Deutschland). Der Schmelz wurde seitlich mit 35% Phosphorsäure (Ultradent Products, South Jordan, UT, USA) für 60 s geätzt und anschliessend 40 s mit Wasser abgespült. Sowohl die Schmelz- und Dentinproben wurden mit einem Adhäsivsystem (Syntac® Primer, Syntac Adhäsiv, Heliobond, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) konditioniert. Mittels fließfähigem Komposit (Tetric flow®,

Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) wurden die konditionierten Proben in die Keramikringe eingebettet, wobei die Proben ca. 100-150 μm überstehend photopolymerisiert wurden (Polymerisationslampe: 40 s, Bluephase, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein). Schliesslich wurden die Proben mit 1200, 2400 und 4000 Siliziumcarbidpapier (Struers GmbH, Birmensdorf, Schweiz) hochglanzpoliert. Anschliessend wurden in die Keramikoberfläche zwei Referenzpunkte in die Mitte des Keramikrings gebohrt (Bohrer: Firma Busch, Rodent AG, Hartmet HAST, Bohrmaschine: Cendres + Métaux SA, Biel, PFG 100, speed 1000 RPM). Diese Markierung diente als Referenzpunkt zur Repositionierung bei der profilometrischen Messung.

Die Proben wurden γ -sterilisiert (12 kGy, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz). Anschliessend wurden die Proben einzeln auf Probenträgern (Laubscher, Täuffelen, Schweiz) mit Sekundenkleber fixiert (Sekundenkleber Renfert, UNOR AG) und profilometrisch vermessen. Insgesamt wurden je 160 Schmelz- und Dentinproben hergestellt, die zufällig auf 10 Probanden mit je $n = 32$ Schmelz- und Dentinproben verteilt wurden.

5.2 Fluoridherstellung und Behandlung

Für diese Studie wurden vier äquimolare Fluoridlösungen (0.5 MF) hergestellt: 1.55% TiF_4 , 2.09% ZrF_4 , 3.18% HfF_4 und 13.43% AmF . Für die Tetrafluoridherstellung wurde Titantetrafluorid, Zirkoniumtetrafluorid und Hafniumtetrafluorid als Pulver (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Schnelldorf, Deutschland) mit destilliertem Wasser angerührt. Das Aminfluorid wurde als fertige Lösung verwendet (GABA International AG, Therwil, Schweiz). Der pH-Wert der verschiedenen Lösungen wurde mit dem pH-Meter (Metrom 827 pH lab, Metrohm AG, Herisau, Schweiz) gemessen: TiF_4 : 1.7,

ZrF₄: 2.1, HfF₄: 1.9 und AmF: 4.5. Die Fluoridlösungen wurden für jeden Versuchsdurchlauf frisch hergestellt.

5.3 Versuchsdurchführung

Es nahmen zehn Probanden an der Studie teil (9 weiblich, 1 männlich, Alter 23-64 Jahre). Als Einschlusskriterien galten eine physiologische Speichelfliessrate (stimuliert >1ml/min, unstimuliert >0.25ml/min) sowie eine gute orale Gesundheit (keine Karies, keine Gingivitis/Parodontitis). Als Ausschlusskriterien wurden Allgemeinerkrankungen, Schwangerschaft, Stillzeit und das Tragen von abnehmbaren oder fixierten orthodontischen Apparaturen definiert. Die Probandenzahl von zehn Personen wurde anhand vorhergehender Studien definiert (Rios et al. 2008, Wiegand et al. 2008d, Wiegand et al 2008e). Die Erlaubnis zur Durchführung der Studie wurde durch die lokale Ethikkommission bewilligt (No. 07/11). Alle Probanden gaben ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme an der Studie.

Die bereits initial profilometrisch gemessenen Proben wurden vor Versuchsbeginn in Wasser gelagert. Für jeden Versuch wurden zwei Schmelz- und zwei Dentinproben in einer Tiefziehschiene intraoral fixiert getragen. Die Proben wurden zwei Stunden vor dem Fluoridauftragen intraoral in die Tiefziehschiene eingesetzt um die Bildung einer Pellikel zu erlauben. Danach wurden jeweils eine Schmelz- und eine Dentinprobe mit einer Fluoridlösung (1.55% TiF₄, 2.09% ZrF₄, 3.18% HfF₄ oder 13.43% AmF) behandelt, während die anderen beiden Proben unbehandelt blieben und als Kontrolle dienten. Für die Fluoridapplikation wurde 15 µl der Fluoridlösung für 60 s auf die Probenoberfläche aufgetragen und anschliessend mit destilliertem Wasser für 10 s abgespült. Zwei Stunden nach dem Einsetzen der fluoridierten Proben wurden alle Proben das erste Mal für 90 s ausserhalb der Mundhöhle erodiert

(Sprite®, Coca-Cola, Brüttisellen, Schweiz). Die Proben wurden dazu aus der Schiene entfernt und in ein Glas gegeben. Das Glas wurde dann soweit mit Sprite gefüllt, bis die Proben vollständig bedeckt waren. Vor dem Wiedereinsetzen in die Mundhöhle wurden die Proben für 10 s mit Wasser abgespült. Die Erosionen wurden viermal pro Tag in einem zeitlichen Abstand von drei Stunden durchgeführt, wobei ein Versuchszyklus drei Tage dauerte. Jeder Proband führte einen solchen Versuchszyklus viermal durch (Erosion). In den anderen vier Versuchszyklen wurde der Ablauf leicht geändert (Erosion + Abrasion). Die Proben wurden jeden Tag 1.5 h nach der ersten, und 1.5 h nach der letzten Erosion für 30 s gebürstet (Zahnbürste: Professional Care 9900 TRIUMPH Braun GmbH, Deutschland, Bürstaufsatz: Oral-B Sensitive, Braun GmbH, Kronberg, Deutschland; Zahnpasta: Elmex® (GABA International AG, Therwil)). Um die Bürstkraft zu standardisieren wurde die Zahnbürste in einer Metallvorrichtung (Eigenbau Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie, Zentrum für Zahnmedizin, Universität Zürich, Schweiz) mit einer Anpresskraft von 1.2 N fixiert.

Während die Proben in situ getragen wurden, wurden die Probanden gebeten, nicht zu Essen und nicht zu Trinken. Während den Mahlzeiten und bei Getränkezufuhr wurden die Proben in Wasser gelagert. Die eigenen Zähne der Probanden wurden während den Versuchszyklen mit einer fluoridierten Zahnpasta gereinigt (Elmex®, GABA International AG, Therwil).

5.4 Profilometrische Auswertung

Um den Substanzverlust der Schmelz- und Dentinproben zu ermitteln, wurde eine profilometrische Messung vor Versuchsbeginn und nach Abschluss des Versuchs (Taylor Hobson Presicion, Form Talysurf, µltra 5.14.9.70, ELYT Messtechnik,

Dübendorf, Schweiz) vorgenommen. Zur Initial- und Abschlussmessung wurde der Taster (Elyt Messtechnik Dübendorf, Schweiz, Shaftlänge 50 mm, 2 µm Diamant, 60° Öffnungswinkel) des Profilometers von links nach rechts über eine Strecke von 3.8 mm über die Probenoberfläche geführt, wobei das Oberflächenprofil aufgezeichnet wurde (TH Ultra Version 5.14.9.70). Pro Probe wurden fünf Oberflächenprofile in einem Abstand von je 0.2 mm mit einer Messgeschwindigkeit von 0.5 m/s durchgeführt. Um die Messungen reponieren zu können, wurden zwei Referenzlöcher in die Keramik gebohrt (Bohrer: Firma Busch, Rodent AG, Hartmet HAST, Bohrmaschine: Cendres + Métaux SA, Biel, PFG 100, speed 1000 RPM, Durchmesser ca. 1 mm). Von diesen Bohrlöchern wurde der Taster mittels Mikrometerschraube in der X- und Y- Achse bis zum gewünschten Messpunkt verschoben. Als Referenzfläche der Messung diente die Keramikoberfläche, da sie sowohl säure- als auch abrasionsresistent ist (Yu et al. 2009). Am Ende des dreitägigen Versuchszyklus wurden die Proben erneut profilometrisch gemessen. Durch die Software des Profilometers (Mahr Perthometer Konzept 7.0, Mahr, Göttingen, Deutschland) wurde die Initialmessung mit der Endmessung übereinander gelegt, so dass der mittlere Verlust je Profil berechnet werden konnte.

5.5 Statistische Auswertung

In allen Gruppen wurde der Schmelz- und Dentinverlust der fluoridierten Proben und der entsprechenden Kontrollen berechnet. Es wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) für Messwiederholungen zusammen mit einer Greenhouse-Geisser Korrektur separat für fluoridierte Proben und Kontrollproben sowie für erodierte und für erodierte/abradierte Proben durchgeführt. Der gepaarte t-Test wurde angewendet, um sowohl fluoridierte Proben mit Kontrollproben, als auch erodierte mit erodierten/abradierten Proben zu vergleichen. Ebenfalls wurde der relative Schmelz-

und Dentinhartsubstanzverlust im Bezug zur entsprechenden Kontrolle prozentual berechnet, um zu überprüfen, ob durch zusätzliche Abrasion die Schutzwirkung der fluoridierten Proben reduziert wird. Mögliche carry-over Effekte wurden durch pkcross Funktion von STATA Version 10 ausgeschlossen. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0.05$ festgelegt.

Die statistische Auswertung wurde in Zusammenarbeit mit Frau Dr. Malgorzata Roos von der Abteilung Biostatistik des Instituts für Sozial- und Präventivzahnmedizin (ISPMZ), Universität Zürich, durchgeführt.

6 Ergebnisse

Der mittlere Schmelz- und Dentinabtrag (\pm Standardabweichung, μm) ist in Abbildung 6.1 und 6.2 dargestellt. Alle Probanden haben bis zum Ende an der Studie teilgenommen. Im Verlauf der Studie ging eine Probe (Dentin, Kontrolle) verloren. Es zeigten sich sowohl im Schmelz als auch im Dentin keine signifikanten Unterschiede zwischen den fluoridierten bzw. zwischen den Kontrollproben, dies gilt sowohl für die erodierten als auch für die erodierten/abradierten Proben. Insgesamt konnte gezeigt werden, dass alle fluoridierten Proben signifikant weniger Zahnhartsubstanzabtrag aufwiesen als die Kontrollgruppen. Ebenfalls wurde gezeigt, dass der Zahnhartsubstanzabtrag der fluoridierten Proben und der Kontrollproben signifikant anstieg, wenn die Proben zusätzlich zur Erosion abradiert wurden.

In Abbildung 6.3 ist der Schmelz- und Dentinabtrag in Prozent zur entsprechenden Kontrollgruppe dargestellt (Mittelwert \pm Standardabweichung). Der Schmelzverlust bei fluoridierten Proben war in allen Gruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe (100%) signifikant niedriger. Bei Dentinproben führte die Fluoridierung zu einer signifikanten Reduktion des erosiven Zahnhartsubstanzverlustes in allen Gruppen. Bei Erosion/Abrasion war der protektive Effekt nur bei AmF und TiF_4 signifikant. Insgesamt zeigte sich, dass die protektive Wirkung der Fluoride durch die zusätzliche Abrasion reduziert wurde. Dieser Effekt war allerdings nur in der Gruppe „ TiF_4 /Schmelz“ und „ ZrF_4 /Dentin“ signifikant. Der paarweise Vergleich zwischen Schmelz- und Dentinproben unter gleichen Konditionen (Erosion oder Erosion/Abrasion) zeigte keinen Unterschied zwischen den verschiedenen Fluoridgruppen. Daraus kann gefolgert werden, dass die protektive Wirkung von Fluoriden auf Schmelz bzw. Dentin keine signifikanten Unterschiede aufweisen. Es konnten keine carry-over Effekte festgestellt werden ($p = 0.85$).

Gruppe	Erosion		Erosion/Abrasion	
	Fluoride	Kontrolle	Fluoride	Kontrolle
AmF	$0.4 \pm 0.2^{A,a}$	$0.8 \pm 0.2^{B,a}$	$0.9 \pm 0.3^{A,b}$	$1.3 \pm 0.4^{B,b}$
TiF₄	$0.5 \pm 0.2^{A,a}$	$1.0 \pm 0.4^{B,a}$	$0.8 \pm 0.3^{A,b}$	$1.3 \pm 0.3^{B,b}$
HfF₄	$0.5 \pm 0.2^{A,a}$	$0.9 \pm 0.3^{B,a}$	$1.0 \pm 0.4^{A,b}$	$1.2 \pm 0.4^{B,b}$
ZrF₄	$0.5 \pm 0.2^{A,a}$	$0.8 \pm 0.3^{B,a}$	$0.8 \pm 0.4^{A,b}$	$1.3 \pm 0.6^{B,b}$

Abbildung 6.1 Schmelzabtrag der fluoridierten Proben und der Kontrollproben unter erosiven und erosiven/abrasiven Bedingungen

Schmelzabtrag (μm , Mittelwert \pm Standardabweichung) von fluoridierten Proben und Kontrollproben in den verschiedenen Gruppen. Signifikante Unterschiede zwischen fluoridierten Proben und Kontrollproben innerhalb der Gruppe Erosion oder Erosion/Abrasion wurden mit verschiedenen Grossbuchstaben bezeichnet. Unterschiedliche Kleinbuchstaben wurden verwendet, um einen signifikanten Unterschied der fluoridierten Proben bzw. Kontrollproben zwischen der Bedingung Erosion und Erosion/Abrasion darzustellen. Generell konnten innerhalb der fluoridierten Gruppen und innerhalb der Kontrollgruppen unter beiden Konditionen (erodiert und erodiert/abradiert) keine Unterschiede festgestellt werden.

Gruppe	Erosion		Erosion/Abrasion	
	Fluoride	Kontrolle	Fluoride	Kontrolle
AmF	$1.2 \pm 0.9^{A,a}$	$2.3 \pm 1.8^{B,a}$	$2.8 \pm 1.3^{A,b}$	$4.1 \pm 1.3^{B,b}$
TiF₄	$0.8 \pm 0.3^{A,a}$	$2.0 \pm 1.1^{B,a}$	$2.4 \pm 1.7^{A,b}$	$3.5 \pm 1.3^{B,b}$
HfF₄	$0.7 \pm 0.2^{A,a}$	$1.8 \pm 1.4^{B,a}$	$2.6 \pm 1.3^{A,b}$	$3.7 \pm 2.3^{A,a}$
ZrF₄	$0.6 \pm 0.3^{A,a}$	$1.9 \pm 1.0^{B,a}$	$2.5 \pm 0.9^{A,b}$	$3.0 \pm 1.0^{B,a}$

Abbildung 6.2 Dentinabtrag der fluoridierten Proben und der Kontrollproben unter erosiven und erosiven/abrasiven Bedingungen

Dentinabtrag (μm , Mittelwert \pm Standardabweichung) von fluoridierten Proben und Kontrollproben in den verschiedenen Gruppen. Signifikante Unterschiede zwischen fluoridierten Proben und Kontrollproben innerhalb der Gruppe Erosion oder Erosion/Abrasion wurden mit verschiedenen Grossbuchstaben bezeichnet. Unterschiedliche Kleinbuchstaben wurden verwendet, um einen signifikanten Unterschied der fluoridierten Proben bzw. Kontrollproben zwischen der Bedingung Erosion und Erosion/Abrasion darzustellen. Generell konnten innerhalb der fluoridierten Gruppen und innerhalb der Kontrollgruppen unter beiden Konditionen (erodiert und erodiert/abradiert) keine Unterschiede festgestellt werden.

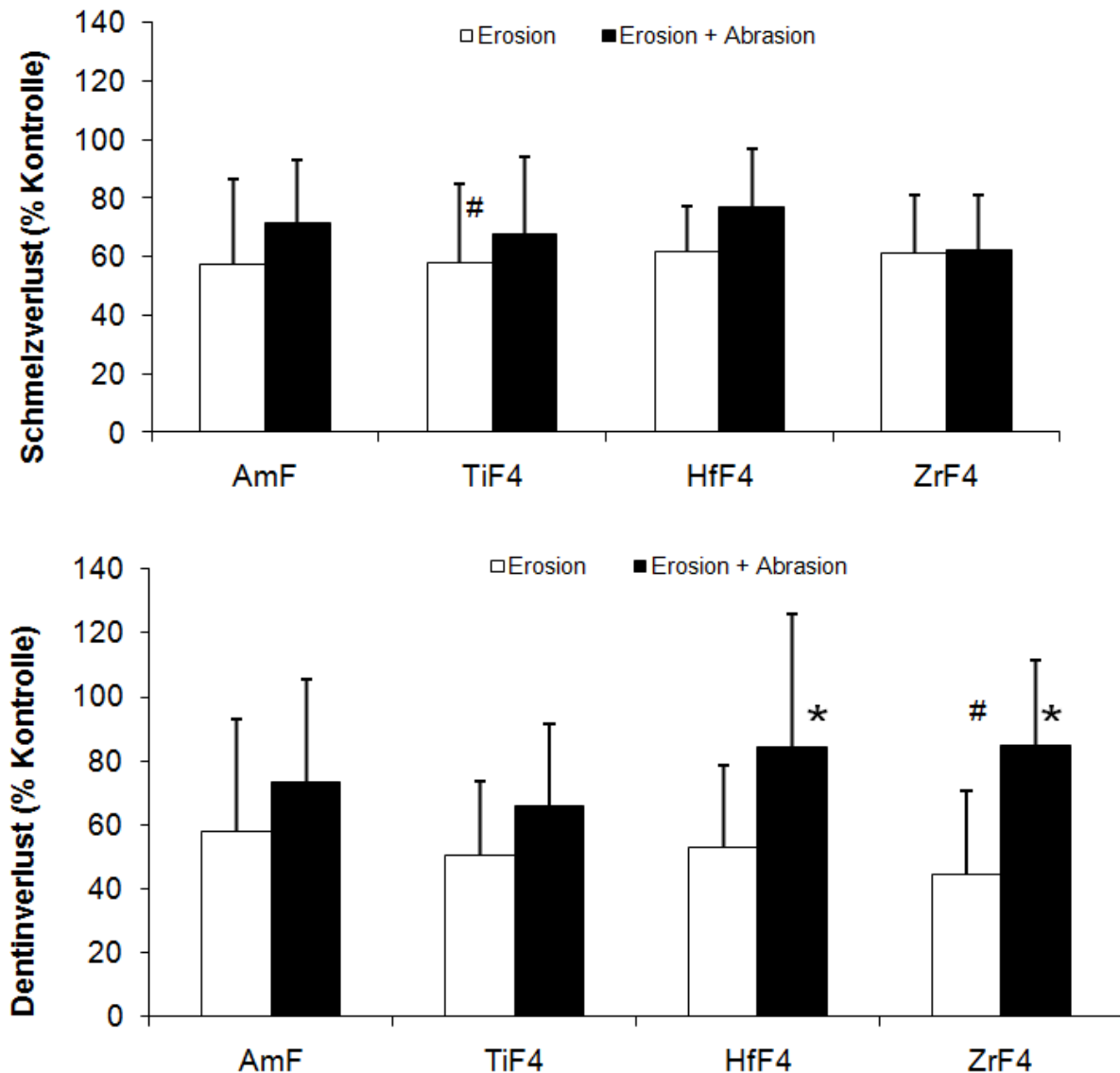


Abbildung 6.3 Schmelz- und Dentinabtrag

Schmelz- und Dentinabtrag (% Kontrolle \pm Standardabweichung) in den verschiedenen Gruppen. Sowohl im Schmelz als auch im Dentin zeigten fluoridierte Gruppen signifikant weniger Abtrag im Vergleich zur Kontrollgruppe (100%) mit Ausnahme von Dentinproben, die mit HfF₄ und ZrF₄ behandelt und zusätzlich abradert wurden (markiert mit *). Die protektive Wirkung von Fluoridlösungen wurde durch die zusätzliche Abrasion reduziert. Signifikant war dieser Effekt aber nur für TiF₄ bei Schmelz und ZrF₄ bei Dentin (markiert mit #).

7 Diskussion

7.1 Material und Methode

In der vorliegenden Studie wurden bovine Schmelz- und Dentinproben verwendet, die aus extrahierten Unterkieferfrontzähnen gewonnen wurden.

Rinderzähne bieten sich aus verschiedenen Gründen für Studien an. Die Menge an humanen Zähnen wäre für die grosse Anzahl an durchgeführten Studien zu klein, weshalb ein Ausweichen auf Rinderzähne naheliegend ist (De Menezes et al. 2004). Bovine Zähne sind im Vergleich zu humanen Zähnen viel grösser, weshalb mehrere Proben aus einem Zahn gewonnen werden können. Rinderzähne besitzen ähnliche physikalische und chemische Eigenschaften wie humane Zähne, deswegen sind die Resultate vergleichbar (Imfeld 2001). Ein weiterer Vorteil von bovinen Zahnproben zeigt sich dadurch, dass die Tiere ähnlicher genetischer Abstammung sind und sich aus ähnlicher diätetischer Entwicklung ableiten. Die Mineralzusammensetzung der bovinen Zähne zeigt deswegen einheitlichere Strukturen als diejenigen von Menschen, die sehr unterschiedliche Ernährungsgewohnheiten und Fluoridverwendungen aufweisen (Wegehaupt et al. 2008). Wegehaupt et al. (2008) konnten zeigen, dass keine signifikanten Unterschiede im Zahnhartsubstanzauftrag nach Erosion/Abrasion zwischen bovinem und humanem Dentin zu verzeichnen sind. Meurman und Frank (1991a) fanden keine Unterschiede in der Oberflächenstruktur von für 15 - 180 min erodierten bovinen und humanen Schmelzproben. Humaner Zahnschmelz weist aber eine leicht niedrigere Dichte sowie eine tiefere Vickers-Härte auf, zeigt aber höhere Kalzium und Phosphorwerte als boviner Schmelz. In bovinem Schmelz sind grössere Kristalle sowie eine höhere Porosität zu verzeichnen (Wegehaupt et al. 2008). Möglicherweise ist dies der Grund, weswegen eine

Demineralisation in bovinem Schmelz dreimal so schnell fortschreitet wie in humanem Schmelz. Attin et al. (2007) konnten zeigen, dass erodierter humaner Schmelz resistenter ist als erodierter boviner Schmelz. Wurden bovine Proben erodiert und zusätzlich abradiert, konnte mehr Schmelzverlust verzeichnet werden. Obwohl die Unterschiede von bovinen und humanen Zahnproben gering sind, sollten sie doch immer beachtet werden, wenn entsprechende Studien interpretiert werden. Um ein Austrocknen zu verhindern, wurden die Schmelz- und Dentinproben bis zum Versuchsbeginn in destilliertem Wasser gelagert. Während dem Versuch wurden sie intraoral von natürlichem Speichel umgeben, um möglichst realitätsnahe Bedingungen zu schaffen. In der Mundhöhle entsteht durch Adsorption verschiedener Speichelproteine ein dünner Film auf der Zahnoberfläche, eine sogenannte Pellikel (Sønju et al. 1973). Proben mit einer Pellikel aus menschlichem Speichel weisen geringere Demineralisationsspuren auf (Meurman et al. 1991b). Hove et al. (2007b) konnten zeigen, dass der protektive Effekt bei Schmelzerosionen von Titantetrafluorid in Gegenwart einer in vitro entstandenen Pellikel erhöht war. Weiter konnte in einer in situ Studie gezeigt werden, dass die natürliche Pellikelbildung den protektiven Effekt der Fluoride auf die Schmelzoberfläche nicht hemmte (Hove et al. 2008).

Die vorliegende in situ Studie hatte die Absicht, eine alltägliche Situation eines Patienten aufzuzeigen. Zähne sind täglich mehreren Erosionsangriffen ausgesetzt, indem zum Beispiel säurehaltige Getränke konsumiert werden. In dieser Studie wurde stellvertretend für erosive Getränke das Softgetränk Sprite® verwendet. Die Erosionen wurden viermal täglich durchgeführt. Jeder Erosionsdurchgang wurde auf 90 s limitiert. Es ist anzunehmen, dass unter realen Bedingungen ein häufigerer, dafür aber kürzerer Kontakt zur Säure besteht. Nach dem Säurekontakt wurden die

Proben sofort wieder intraoral positioniert. Durch die Pufferwirkung des Speichels können Säuren innert weniger Minuten neutralisiert werden (Hara et al. 2006).

Die meisten Zahnärzte empfehlen ihren Patienten, die Zähne zweimal täglich zu reinigen, weshalb in dieser Studie die Proben auch zweimal täglich gebürstet wurden (Attin et al. 2005). Nach einer erosiven Erweichung von Schmelz und Dentin dauert es mindestens 30-60 min, bis die Abrasionsresistenz wieder Werte von gesunder Zahnhartsubstanz annehmen kann (Attin et al. 2001; Attin et al. 2004). In der vorliegenden Studie wurde deshalb erst 90 min nach der ersten und 90 min nach der letzten Erosion gebürstet. Die Bürstkraft wurde auf 1.2 N festgesetzt, da dies ein durchschnittlicher, klinischer Erfahrungswert für elektrische Zahnbürsten darstellt (Voronets et al. 2008). Mit Hilfe einer Federwaage wurde ein druckkraftgeeichtes Gummiband hergestellt, und somit die Bürstkraft von 1.2 N standardisiert. In der vorliegenden Studie wurde eine elektrische Zahnbürste verwendet. Moritis et al. (2008) konnten zeigen, dass elektrische Zahnbürsten unter Umständen effektiver sind in der Plaqueentfernung, der Gingivitisbehandlung und dem Herabsetzen des Blutungsindexes als manuelle Zahnbürsten. Im Gegensatz zu manuellen Zahnbürsten führen elektrische Zahnbürsten möglicherweise aber zu einem höheren Abtrag (Wiegand et al. 2006a; Wiegand et al. 2006b).

Im Gegensatz zu der Studie von Hove et al. (2008) wurden die Fluoridlösungen in dieser Studie nur einmal auf die pellikelbedeckten Proben aufgetragen. Um möglichst realitätsnahe Bedingungen zu schaffen, wurde die Bildung der Pellikel vor dem Versuchsbeginn abgewartet (Meurman et al. 1991b). Die einmalige Applikation von Fluorid sollte eine Fluoridapplikation durch einen Zahnarzt widerspiegeln. Von vorgängigen in vitro Studien weiss man, dass eine Fluoridapplikation von 60 s

ausreichend ist, um im Fall von TiF_4 eine säurefeste Schicht (Wiegand et al. 2010) und im Fall von AmF, kalziumfluorid-Präzipitate zu bilden (Petzold 2001).

Um die Oberflächenprofile mit dem Profilometer optimal ausmessen zu können, wurden die Proben vorgängig poliert. Die polierte Oberfläche erlaubte eine höhere Auswertungsgenauigkeit. Der Profilverlauf des Keramikringes konnte dadurch klar von dem Oberflächenprofil der Zahnoberfläche abgegrenzt werden, wodurch die Anfangs- und Endprofile exakt reponiert werden konnten. Polierte Oberflächen zeigen jedoch eine geringfügig höhere Erosionsanfälligkeit als natürliche Oberflächen (Ganss et al. 2000). Das Abtasten der Probenoberfläche erfolgte durch einen mechanischen Mikrotaster. Der limitierende Faktor der Genauigkeit stellte die Grösse der Tasterspitze dar. Es konnte ein Substanzverlust ab ca. $0.1\ \mu\text{m}$ registriert werden (Attin et al. 2009). Die Genauigkeit hängt auch massgebend von der Reposition der Referenzpunkte ab. Remineralisierte Areale werden durch die mechanische Profilometrie anhand der Auflagerung von Präzipitaten erkannt. Es wird nur der oberflächliche Zahnhartsubstanzverlust verzeichnet. In der vorliegenden Studie wurde der Zahnhartsubstanzverlust durch Berechnung der Integrale ermittelt, was eine genaue Beurteilung erlaubte.

Die bereits vielfach angewandte Methode der Profilometrie stellt eine präzise und reproduzierbare Methode dar, um oberflächliche Zahnhartsubstanzverluste zu berechnen (Attin et al. 1997; Attin et al. 1998; Attin et al. 2003).

7.2 Diskussion der Ergebnisse

Die Resultate der vorliegenden Studie zeigen, dass Tetrafluoride auch unter klinischen Bedingungen mit mehreren Säureangriffen und Abrasionszyklen in der

Lage sind, den Zahnhartsubstanzabtrag von Schmelz und Dentin gegenüber Erosion bzw. Erosion/Abrasion zu vermindern.

Verschiedene Studien zeigen, dass AmF wirksam ist in der Verhinderung von Schmelzerosionen (Laheij et al. 2010; Ten Cate et al. 1988; Arnold et al. 2007; Wiegand et al. 2009b). AmF war in einigen Studien sogar effektiver als NaF und mindestens so wirksam wie SnF₂ hinsichtlich des protektiven Potentials auf Schmelz. Auch protektive Eigenschaften von AmF auf Schmelz unter erosiven/abrasiven Bedingungen wurden beschrieben (Vieira et al. 2006). AmF-haltige Mundspülungen wie beispielsweise Meridol® zeigen einen pH-Wert von 4.5 (Lussi et al. 2004b), weshalb der pH-Wert für AmF auch in der vorliegenden Studie 4.5 beträgt. Aufgrund der lokalen Wirksamkeit wurde AmF in dieser Studie als Vergleichsgruppe herangezogen.

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass TiF₄ (mit natürlichem pH-Wert) ebenso wirksam ist wie AmF. Hove et al. (2008) konnte in einer in situ Studie zeigen, dass eine regelmässige Applikation von TiF₄ eine Schmelzerosion nahezu verhindern kann. Um TiF₄ regelmässig applizieren zu können, müsste man es in die tägliche Mundhygiene eines Patienten integrieren. Man könnte beispielsweise Zahnpasten oder Mundspülungen mit TiF₄ versehen. Da die Wirksamkeit von TiF₄ von dem sehr tiefen pH-Wert abhängt (Wiegand et al. 2009a), ist eine lokale Applikation durch den Patienten damit nicht möglich, da aufgrund des tiefen pH-Wertes schädliche Nebenwirkungen auf die oralen Weichgewebe befürchtet werden müssen. Die Applikation musste deswegen unter kontrollierten Bedingungen von einem Zahnarzt durchgeführt werden. Wiegand et al. (2009a) konnten zeigen, dass eine Anpassung des pH-Wertes von 1.2 auf 3.5 die protektive Wirkung der Tetrafluoride gegenüber Erosionen aufhebt. Es besteht jedoch die Möglichkeit, den

Tetrafluoriden Fluoride zuzufügen, die stabilisierende Bestandteile aufweisen, so kann TiF_4 auch bei höheren pH-Werten effektiv eingesetzt werden (Schlueter et al. 2009).

Die Resultate dieser Studie zeigen, dass Tetrafluoride in der Lage sind, Dentin vor erosiven Angriffen zu schützen. Ganss et al. (2010) konnten eine protektive Wirkung für AmF auf Dentinerosionen zeigen. In der vorliegenden Studie war die schützende Wirkung auf Dentinerosionen von AmF gleich gross wie der Schutz durch Tetrafluoride. Wurden die Proben jedoch zusätzlich abradiert, so war die schützende Wirkung von ZrF_4 und HfF_4 rückläufig. Man kann daraus schliessen, dass die Schutzschicht nach Applikation von ZrF_4 oder HfF_4 weniger stabil ist als nach Applikation von TiF_4 . Clarkson et al. (1984b) konnten zeigen, dass Zirkonium in Form von Zirkoniumchlorid auf Schmelz eine relativ dicke Schutzschicht bildet, wohingegen durch Titaniumchlorid nur eine dünne Oberflächenschicht entsteht. Bei Dentin zeigt aber TiF_4 eine stabilere Schutzschicht als HfF_4 und ZrF_4 (Wiegand et al. 2008b). Im Gegensatz dazu konnten Wiegand et al. (2008c) in einer anderen Studie zeigen, dass HfF_4 und ZrF_4 über längere Zeit eine stabilere Schutzwirkung aufweisen als TiF_4 . Da gegensätzliche Meinungen über die zeitlich schützende Wirkung der Tetrafluoride vorliegen, sind weitere Studien zur Untersuchung dieses Aspektes notwendig. Es kann aber generell angenommen werden, dass der protektive Effekt einer einmaligen Applikation von Tetrafluoriden unter anhaltenden experimentellen Bedingungen abnimmt. Wiegand et al. (2009a) konnten zeigen, dass eine mit TiF_4 behandelte Dentinoberfläche nach 10 min Erosion zwar immer noch Reste der säurestabilen, Ti-enhaltenden Schicht auf der Oberfläche aufweist, die Demineralisation unter der Oberflächenschicht aber nicht vollständig gestoppt werden kann.

7.3 Schlussfolgerung

Zusammenfassend konnten die aufgestellten Hypothesen der vorliegenden Studie akzeptiert werden:

1. Tetrafluoride konnten Erosionen sowie Erosionen/Abrasionen in Schmelz und Dentin verringern
2. Tetrafluoride erwiesen sich als gleich effektiv wie AmF
3. Tetrafluoride waren gleich effektiv hinsichtlich der Reduktion von Erosionen und kombinierten Erosionen/Abrasionen

8 Literaturverzeichnis

- Amaechi B, Higham S, Edgar W, Milosevic A: Thickness of acquired salivary pellicle as a determinant of the sites of dental erosion. *J Dent Res* 1999, 78: 1821-1828
- Angmar M: Studies on the ultrastructure of dental enamel. VII. A microradiographic and polarization microscopic study on developing human enamel. *Odontol Revy* 1965, 16: 167-181
- Arnold W, Haase A, Hacklaender J, Gintner Z, Bánóczy J, Gaengler P: Effect of pH of amine fluoride containing toothpastes on enamel remineralization in vitro. *BMC Oral Health* 2007, 17: 7-14
- Attin T, Hornecker E: Tooth brushing and oral health: how frequently and when should tooth brushing be performed? *Oral Health Prev Dent* 2005, 3: 135-140
- Attin T, Becker K, Roos M, Attin R, Paqué F: Impact of storage conditions on profilometry of eroded dental hard tissue. *Clin Oral Investig* 2009, 13: 473-478
- Attin T, Knofel S, Buchalla W, Tutuncu R: In situ evaluation of different remineralization periods to decrease brushing abrasion of demineralized enamel. *Caries Res* 2001, 35: 216-222
- Attin T, Koidl U, Buchalla W, Schaller H, Kielbassa A, Hellwig E: Correlation of microhardness and wear in differently eroded bovine dental enamel. *Arch Oral Biol* 1997, 42: 243-250
- Attin T, Meyer K, Hellwig E, Buchalla W, Lennon A: Effect of mineral supplements to citric acid on enamel erosion, *Arch Oral Biol* 2003, 48: 753-759

- Attin T, Siegel S, Buchalla W, Lennon A, Hannig C, Becker K: Brushing abrasion of softened and remineralised dentin: an in situ study. *Caries Res* 2004, 38: 62-66
- Attin T, Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A: The potential of deciduous and permanent bovine enamel as substitute for deciduous and permanent human enamel: Erosion-abrasion experiments. *J Dent* 2007, 35: 773-777
- Attin T, Zirkel C, Hellwig E: Brushing abrasion of eroded dentin after application of sodium fluoride solutions. *Caries Res* 1998, 32: 344-350
- Babu K, Rai K, Hedge A: Pediatric liquid medicaments--do they erode the teeth surface? An in vitro study: part I. *J Clin Pediatr Dent* 2008, 32: 189-194
- Bartlett D: Intrinsic causes of erosion. *Monogr Oral Sci* 2006, 20: 119-139
- Baume L: The biology of pulp and dentine. A historic, terminologic-taxonomic, histologic-biochemical, embryonic and clinical survey. *Monogr Oral Sci* 1980, 8: 1-220
- Brännström M, Garberoglio R: The dentinal tubules and the odontoblast process: a scanning electron microscopic study. *Acta Odont Scand* 1972, 30: 291-311
- Cha C, Mei M, Lo E: Use of fluorides in dental caries management. *Gen Dent* 2010, 58: 37-43
- Clarkson B, Wefel J, Miller I: The effect of polyvalent metal ion mordanting on caries-like lesion progression in enamel. *J Dent Res* 1984, 63: 13-18
- Dawes C: Salivary flow patterns and the health of hard and soft oral tissues. *J Am Dent Assoc* 2008, 139: 18-24

- De Menezes M, Turssi C, Hara A, Messias D, Serra M: Abrasion of eroded root dentine brushed with different toothpastes. Clin Oral Investig 2004, 8: 151-155
- Dérand T, Petersson L: Inhibiting effect on demineralization of permanent root surfaces after different topical application of fluorides and a solution containing Fe- and Al-ions. Swed Dent J 1982, 6: 117-120
- Driessens F: Mineral aspects of dentistry. Monogr Oral Sci 1982, 10: 1-215
- Dülgergil C, Erdemir E, Ercan E, Erdemir A: An industrial dental-erosion by chromic Acid: a case report. Eur J Dent 2007, 1: 119-122
- Eccles J: Tooth surface loss from abrasion, attrition and erosion. Dent Update 1982, 9: 373-374, 376-378, 380-381
- Edwards M, Ashwood R, Littlewood S, Brocklebank L, Fung D: A videofluoroscopic comparison of straw and cup drinking: the potential influence on dental erosion. Br Dent J 1998, 185: 244-249
- Eisenburger M, Hughes J, West N, Shellis R, Addy M: The use of ultrasonication to study remineralization of eroded enamel. Caries Res 2001, 35: 61-66
- Exterkate R, Ten Cate J: Effects of a new titanium fluoride derivative on enamel de- and remineralization. Eur J Oral Sci 2007, 115: 143-147
- Fuller J, Johnson W: Citric acid consumption and the human dentition. J Am Dent Assoc 1977, 95: 80-84
- Ganss C, Klimek J, Schwarz N: A comparative profilometric in vitro study of the susceptibility of polished and natural human enamel and dentine surfaces to erosive demineralization. Arch Oral Biol 2000, 45: 897-902

- Ganss C, Klimek J, Brune V, Schürmann A: Effects of two fluoridation measures on erosion progression in human enamel and dentine in situ. *Caries Res* 2004, 38: 561-566
- Ganss C, Klimek J, Schäfer U, Spall T: Effectiveness of two fluoridation measures on erosion progression in human enamel and dentine in vitro. *Caries Res* 2001, 35: 325-330
- Ganss C, Lussi A, Sommer N, Klimek J, Schlueter N: Efficacy of fluoride compounds and stannous chloride as erosion inhibitors in dentine. *Caries Res* 2010, 44: 248-252
- Grenby T: Lessening dental erosive potential by product modification. *Eur J Oral Sci* 1996, 104: 221-228
- Grippio J: Abfraction a new classification of hard tissue lesions of teeth. *J Esthet Dent* 1991, 3: 14-19
- Grippio J, Simring M, Schreiner S: Attrition, abrasion, corrosion and abfraction revisited: a new perspective on tooth surface lesions. *J Am Dent Assoc* 2004, 135: 1109-1118
- Gudmundsson K, Kristleifsson G, Theodors A, Holbrook P: Tooth erosion gastroesophageal reflux and salivary buffer capacity. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995, 79: 185-189
- Hara A, Lussi A, Zero D: Biological factors. *Monogr Oral Sci* 2006, 20: 88-99
- Hawkes C: The worldwide battle against soft drinks in schools. *Am J Prev Med* 2010, 38: 457-461

- Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Urban und Fischer 2006, 49, 50, 97, 112
- Hjortsjö C, Jonski G, Thrane P, Saxegaard E, Young A: The effects of acidic fluoride solutions on early enamel erosion in vivo. *Caries Res* 2009, 43: 126-131
- Hoppenbrouwers P, Driessens F, Borggreven J: The vulnerability of unexposed human dental roots to demineralization. *J Dent Res* 1986, 65: 955-958
- Hörstadius S: The Neural Crest. Press London 1950, Oxford Univ.
- Hove L, Holme B, Øgaard B, Willumsen T, Tveit A: The protective effect of TiF₄, SnF₂ and NaF on erosion of enamel by hydrochloric acid in vitro measured by white light interferometry. *Caries Res* 2006, 40: 440-443
- Hove L, Holme B, Young A, Tveit A: The erosion-inhibiting effect of TiF₄, SnF₂, and NaF solutions on pellicle-covered enamel in vitro. *Acta Odontol Scand* 2007, 65: 259-264
- Hove L, Holme B, Young A, Tveit A: The protective effect of TiF₄, SnF₂ and NaF against erosion-like lesions in situ. *Caries Res* 2008, 42: 68-72
- Hove L, Young A, Tveit A: An in vitro study on the effect of TiF(4) treatment against erosion by hydrochloric acid on pellicle-covered enamel. *Caries Res* 2007b, 41: 80-84
- Hughes J, West N, Parker D, Newcombe R, Addy M: Development and evaluation of a low erosive blackcurrant juice drink. 3. Final drink and concentrate, formulae comparisons in situ and overview of the concept. *J Dent* 1999, 27: 345-350

- Imfeld T: Dental erosion: Definition, classification and links. Eur J Oral Sei 1996a, 104:151-155
- Imfeld T: Prevention of progression of dental erosion by professional and individual prophylactic measure. Eur J Oral Sci 1996b, 104: 215-220
- Imfeld T: Comparison of the mechanical effects of a toothbrush and standard abrasive on human and bovine dentine in vitro. J Clin Dent 2001, 12: 92-96
- Jaeggi T, Lussi A: Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: an in situ study. Caries Res 1999, 33: 455-461
- Järvinen V, Meurman J, Hyvärinen H, Rytömaa I, Murtomaa H: Dental erosion and upper gastrointestinal disorders. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1988, 65: 298-303
- Järvinen V, Rytömaa I, Meurman J: Location of dental erosion in a referred population. Caries Res 1992, 26: 391-396
- Johansson A, Lingström P, Imfeld T, Birkhed D: Influence of drinking method on tooth-surface pH in relation to dental erosion. Eur J Oral Sci 2004, 112: 484-489
- Kaye H, Herold R: Structure of human dentine. I. Phase contrast, polarization, interference and bright field microscopic observations on the lateral branch system. Arch Oral Biol 1966, 11: 355-368
- König K: Root lesions. Int Dent J 1990, 40: 283-288

- Lagerweij M, Buchalla W, Kohnke S, Becker K, Lennon A, Attin T: Prevention of erosion and abrasion by a high fluoride concentration gel applied at high frequencies. *Caries Res* 2006, 40: 148-153
- Laheij A, van Strijp A, van Loveren C: In situ remineralisation of enamel and dentin after the use of an amine fluoride mouthrinse in addition to twice daily brushings with amine fluoride toothpaste. *Caries Res* 2010, 44: 260-266
- Lappalainen R, Knuuttila M, Salminen R: The concentrations of Zn and Mg in human enamel and dentine related to age and their concentrations in the soil. *Oral Biol* 1981, 26: 1-6
- Larsen M, Nyvad B: Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate. *Caries Res* 1999, 33: 81-87
- Laufer B, Mayer I, Gedalia I, Deutsch D, Kaufman H, Tal M: Fluoride-uptake and fluoride-residual of fluoride-treated human root dentine in vitro determined by chemical, scanning electron microscopy and X-ray diffraction analyses. *Arch Oral Biol* 1981, 26: 159-163
- Lazarchik D, Frazier K: Dental erosion and acid reflux disease: an overview. *Gen Dent* 2009, 57: 151-156
- Le Douarin N: *The Neural Crest*. Press Cambridge 1982, Cambridge Univ
- Levitch L, Bader J, Shugars D, Heymann H: Non-carious cervical lesions. *J Dent* 1994, 22: 195-207
- Linkosalo E, Markkanen H: Dental erosions in relation to lactovegetarian diet. *Scand J Dent Res* 1985, 93: 436-441

Lussi A, Jaeggi T: Occupation and sports. Monogr Oral Sci 2006c, 20: 106-111

Lussi A, Jaeggi T: Erosion - diagnosis and risk factors. Clin Oral Investin 2008, 1:5-13

Lussi A, Hellwig E, Zero D, Jaeggi T: Erosive tooth wear: diagnosis, risk factors and prevention. Am J Dent 2006, 19: 319-325

Lussi A, Jaeggi T, Zero D: The role of diet in the aetiology of dental erosion. Caries Res 2004a, 38: 34-44

Lussi A, Jaeggi T, Gerber C, Megert B: Effect of amine/sodium fluoride rinsing on toothbrush abrasion of softened enamel in situ. Caries Res 2004b, 38: 567-571

Lussi A, Schaffner M, Hotz P, Suter P: Dental erosion in a population of Swiss adults. Community Dent Oral Epidemiol 1991, 19: 286-290

Magalhães A, Comar L, Rios D, Delbem A, Buzalaf M: Effect of a 4% titanium tetrafluoride (TiF₄) varnish on demineralisation and remineralisation of bovine enamel in vitro. J Dent 2008b, 36: 158-162

Magalhães A, Levy F, Rios D, Buzalaf M: Effect of a single application of TiF(4) and NaF varnishes and solutions on dentin erosion in vitro. J Dent 2010 38: 153-157

Magalhães A, Rios D, Honorio H, Delbem A, Buzalaf M: Effect of 4% titanium tetrafluoride solution on the erosion of permanent and deciduous human enamel: an in situ/ex vivo study. J Appl Oral Sci 2009a, 17: 56-60

- Magalhães A, Rios D, Honório HM, Jorge AM Jr, Delbem AC, Buzalaf MA: Effect of 4% titanium tetrafluoride solution on dental erosion by a soft drink: an in situ/ex vivo study. *Arch Oral Biol* 2008a, 53: 399-404
- Magalhães A, Wiegand A, Rios D, Honório H, Buzalaf M: Insights into preventive measures for dental erosion. *J appl Oral Sci* 2009b, 17: 75-86
- Maupomé G, Aguilar-Avila M, Medrano-Ugalde H, Borges-Yáñez A: In vitro quantitative microhardness assessment of enamel with early salivary pellicles after exposure to an eroding cola drink. *Caries Res* 1999, 33: 140-147
- Meurman J, Frank R: Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel. *Caries Res* 1991a, 25: 81-87
- Meurman J, Frank R: Scanning electron microscopic study of the effect of salivary pellicle on enamel erosion. *Caries Res* 1991b, 25: 1-6
- Millward A, Shaw L, Harrington E, Smith A: continuous monitoring of salivary flow rate and pH at the surface of the dentition following consumption of acidic beverages. *Caries Res* 1997, 31: 44-49
- Mjör I: Microradiography of human coronal dentine. *Arch Oral biol* 1966, 11: 225-234
- Mjör I: Human coronal dentine: Structure and reactions. *Oral Surg* 1972, 33: 810-823
- Moritis K, Jenkins W, Hefti A, Schmitt P, McGrady M: A randomized, parallel design study to evaluate the effects of a Sonicare and a manual toothbrush on plaque and gingivitis. *J Clin Dent* 2008, 19: 64-68
- Noack M: Erosions of hard tooth substance. *Dtsch Zahnärztl Z* 1989, 44: 517-520

- Petzold M: The influence of different fluoride compounds and treatment conditions on dental enamel: a descriptive in vitro study of the CaF_2 precipitation and microstructure. *Caries Res* 2001, 35: 45-51
- Poccio C, Lombardini M, Colombo M, Bianchi S: Impact of two toothpastes on repairing enamel erosion produced by a soft drink: an AFM in vitro study. *J Dent* 2010, 38: 868-874
- Rios D, Magalhães AC, Polo RO, Wiegand A, Attin T, Buzalaf MA: The efficacy of a highly concentrated fluoride dentifrice on bovine enamel subjected to erosion and abrasion. *J Am Dent Assoc* 2008, 139: 1652-1656
- Rogalla K, Finger W, Hannig M: Influence of buffered and unbuffered acetylsalicylic acid on dental enamel and dentine in human teeth: an in vitro pilot study. *Methods Find Exp Clin Pharmacol* 1992, 14: 339-346
- Rølla G, Saxegaard E: Critical evaluation of the composition and use of topical fluorides, with emphasis on the role of calcium fluoride in caries inhibition. *J Dent Res* 1990, 69: 780-785, 820-823
- Rølla G, Ogaard B, Cruz R: Topical application of fluorides on teeth. New concepts of mechanisms of interaction. *J Clin Periodontol* 1993, 20: 105-108
- Schlueter N, Duran A, Klimek J, Ganss C: Investigation of the Effect of Various Fluoride Compounds and preparations Thereof on Erosive Tissues Loss in Enamel in vitro. *Caries Res* 2009, 43: 10-16
- Schlueter N, Ganss C, Mueller U, Klimek J: Effect of titanium tetrafluoride and sodium fluoride on erosion progression in enamel and dentine in vitro. *Caries Res* 2007, 41: 141-145

Schroeder H: Orale Strukturbiologie. Thieme 2000, 5. unveränderte Auflage, 174

Schroeder L, Frank R.: Highresolution transmission electron microscopy of adult human peritubular dentine. Cell Tiss Res 1985, 242: 449-451

Schweizer-Hirt C, Scheit A, Schmid R, Imfeld T, Lutz F, Mühlemann H: Erosion und Abrasion des Schmelzes: Eine experimentelle Studie. Schweizerische Monatszeitschrift Zahnmedizin 1978, 88: 497-529

Shannon I, Buchanan W, Mahan C: In vitro treatment of human root surfaces with fluorides. J Public Health Dent 1976, 36: 201-206

Shrestha B, Mundorff S, Bibby B: Enamel dissolution. I. Effects of various agents and titanium tetrafluoride. J Dent Res 1972, 51: 1561-1566

Sønju T, Rølla G: Chemical analysis of the acquired pellicle formed in two hours on cleaned human teeth in vivo. Rate of formation and amino acid analysis. Caries Res 1973, 7: 30-38

Sorvari R, Meurman J, Alakuijala P, Frank R: Effect of fluoride varnish and solution on enamel erosion in vitro. J Dent Res 1994, 73: 227-232

Stack M: Chemical organization of the organic matrix of enamel. In Miles, A.E.W.: Structural and Chemical Organization of Teeth. New York Academic 1967, 2: 317

Stephen K, Mc Crossan J, Mackenzie D, Macfarlane C, Speirs C: Factors determining the passage of drugs from blood into saliva. Br Dent Clin Pharmacol 1980, 9: 51-55

- Suyama Y, Takaku S, Okawa Y, Matsukubo T: Dental erosion in workers exposed to sulfuric acid in lead storage battery manufacturing facility. Bull Tokyo Dent Coll 2010, 51: 77-83
- Ten Cate J, Exterkate R, Buijs M: The relative efficacy of fluoride toothpastes assessed with pH cycling. Caries Res 2006, 40: 136-141
- Ten Cate J, Exterkate R, Rempt H: Intra-oral retention of fluoride by bovine enamel from amine fluoride toothpaste and 0.4% amine fluoride liquid application. J Dent Res 1988, 67: 491-495
- Tezel H, Ergucu Z, Onal B: Effects of topical fluoride agents on artificial enamel lesion formation in vitro. Quintessence Int 2002, 33: 347-352
- Thylstrup A, Fejerskov O: Textbook of clinical cariology. Munksgaard 1994, Second edition
- Tronstad L: Ultrastructural observations on human coronal dentine. Scand J dent. Res 1973, 81: 101-111
- Tveit A, Hals E, Isrenn R, Tøtdal B: Highly acid SnF₂ and TiF₄ solutions. Effect on and chemical reaction with root dentin in vitro. Caries Res 1983, 17: 412-418
- Tveit A, Tøtdal B, Klinge B, Nilvéus R, Selvig K: Fluoride uptake by dentin surfaces following topical application of TiF₄, NaF and fluoride varnishes in vivo. Caries Res 1985, 19: 240-247
- Vieira A, Lugtenborg M, Ruben J, Huysmans M: Brushing Abrasion of Eroded Bovine Enamel Pretreated with Topical Fluorides. Caries Res 2006, 40: 224-230

- Vieira A, Lugtenborg M, Ruben J, Huysmans M: Brushing abrasion of eroded bovine enamel pretreated with topical fluorides. *Caries Res* 2006, 40: 224-230
- Voronets J, Jaeggi T, Buergin W, Lussi A: Controlled toothbrush abrasion of softened human enamel. *Caries Res* 2008, 42: 286-290
- Waters N: Evidence for regarding enamel as an ion exchange membrane. In Fearnhead, R.W., M.V. Stack: *Tooth Enamel II*. Wright Bristol 1971, 166-167
- Weatherell J, Robinson C, Hallsworth A: Variations in the chemical compositions of human enamel. *J dent Res* 1974, 53: 180-192
- Weatherell J, Weidmann S, Eyre D: Histological appearance and chemical composition of enamel protein from mature human molars. *Caries Res* 1968, 2: 281-293
- Wefel J, Harless J: The effect of several topical fluoride agents on artificial lesion formation. *J Dent Res* 1982, 61: 1169-1171
- Wegehaupt F, Gries D, Wiegand A, Attin T: Is bovine dentine an appropriate substitute for human dentine in erosion/abrasion tests? *J Oral Rehabil* 2008, 35: 390-394
- Wegehaupt F, Schneiders V, Wiegand A, Schmidlin P, Attin T: Influence of two different fluoride compounds and the acquired pellicle on the amount of formed KOH-soluble fluoride and its retention after tooth brushing. *Acta Odontol Scand* 2009, 29: 1-5
- Whittacker D: The enamel-dentine junction of human and *Macaca irus* teeth: a light and electron microscopic study. *J Anat* 1978, 125: 323-335

- Wiegand A, Attin T: Occupational dental erosion from exposure to acids: a review. *Occup Med* 2007, 57: 169-176
- Wiegand A, Begic M, Attin T: In vitro evaluation of abrasion of eroded enamel by different manual, power and sonic toothbrushes. *Caries Res* 2006a, 40: 60-65
- Wiegand A., Bichsel D, Magalhães A, Becker K, Attin T: Effect of sodium, amine and stannous fluoride at the same concentration and different pH on in vitro erosion. *J Dent* 2009b, 37: 591-595
- Wiegand A, Egert S, Attin T: Toothbrushing before or after an acidic challenge to minimize tooth wear? An in situ/ex vivo study. *Am J Dent* 2008e, 21: 13-16
- Wiegand A, Laabs K, Gressmann G, Roos M, Magalhães A, Attin T: Protection of short-time enamel erosion by different tetrafluoride compounds. *Arch Oral Biol* 2008c, 53: 497-502
- Wiegand A, Lemmrich F, Attin T: Influence of rotating-oscillating, sonic and ultrasonic action of power toothbrushes on abrasion of sound and eroded dentine. *J Periodontal Res* 2006b, 41: 221-227
- Wiegand A, Magalhães A, Attin T: Is titanium tetrafluoride (TiF₄) effective to prevent carious and erosive lesions? A review of the literature. *Oral Health Prev Dent* 2010, 8: 159-164
- Wiegand A, Meier W, Sutter E, Magalhães A, Becker K, Roos M: Protective effect of different tetrafluorides on erosion of pellicle-free and pellicle-covered enamel and dentine. *Caries Res* 2008b, 42: 247-254

-
- Wiegand A, Müller I, Schnapp JD, Werner C, Attin T: Impact of fluoride, milk and water rinsing on surface rehardening of acid softened enamel. An in situ study. Am J Dent 2008d, 21: 113-118
- Wiegand A, Waldheim E, Sener B, Magalhães A, Attin T: Comparison of the effects of TiF₄ and NaF solutions at pH 1.2 and 3.5 on enamel erosion in vitro. Caries Res 2009a, 43: 269-277
- Wilder-Smith C, Wilder-Smith P, Kawakami-Wong H, Voronets J, Osann K, Lussi A: Quantification of Dental Erosions in Patients With GERD Using Optical Coherence Tomography Before and After Double-Blind, Randomized Treatment With Esomeprazole or Placebo. Am J Gastroenterol 2009, 104: 2788-2795
- Yu H, Wegehaupt F, Wiegand A, Roos M, Attin T, Buchalla W: Erosion and abrasion of tooth-colored restorative materials and human enamel. J Dent 2009, 37: 913-922

9 Herstellerverzeichnis

Chemikalien:

Aminfluorid	GABA International AG Grabetsmattweg CH-4106 Therwil, Schweiz
Hafniumtetrafluorid	Sigma-Aldrich Chemie GmbH Schnelldorf, Deutschland
Phosphorsäure	Ortho-Phosphorsäure 85% z.A. Merck KGaA VWRInternational AG Lerzenstrasse 16/18 8953 Dietikon, Schweiz
Titaniumtetrafluorid	Sigma-Aldrich Chemie GmbH Schnelldorf, Deutschland
Zirkoniumtetrafluorid	Sigma-Aldrich Chemie GmbH Schnelldorf, Deutschland

Bohrer

Firma Busch, Rodent AG
Catalog ISO: 500104001 001006
< 85000 min⁻¹
LOT 0222811906
Hartmet HAST

Bohrmaschine

Cendres + Métaux SA

CH-2501 Biel-Bienne

PFG100 speedx1000 RPM →12

Treadlite Cat.No. T-51-S

7A 125-250 VAC~

1/6 HP 125 VAC~

Linemaster Switch Corporation

Woodstock. CT. USA

Erosive Lösung:

Sprite® (Coca-Cola, 8306 Brüttisellen, Schweiz)

Fräsen:

Fräsen mit Durchmesser 2.9 mm und einer Körnung von 50 µm (Eigenbau Klinik PPK, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universität Zürich, Plattenstrasse 11, 8032 Zürich, Schweiz)

Fräsmaschine:

EMCO FB-2 1987 (EMCO Maier GmbH, Salzburger Strasse 80, 5400 Hallein, Österreich)

Keramikröhrchen:

Aluminiumoxid / Degussit® (Friatec AG / Degussa GmbH, Bennigsenplatz 1, 40474 Düsseldorf, Deutschland)

Nominal 99.7% Al₂O₃

Minimal 99.5% Al_2O_3

Dichte 3.7 – 3.95%

Innendurchmesser: 3 mm

Aussendurchmesser: 6 mm

Komposit:

Tetric flow ® (Ivoclar Vivadent AG, Bendererstrasse 2, 9494 Schaan, Fürstentum Liechtenstein)

Konditionierungsmaterial:

Schmelz- und Dentinvorbehandlung:

Ultra-Etch: Phosphorsäure 35% (Ultradent Products, Inc., 505 W. 10200 S., South Jordan, UT 84095, USA)

Syntac®: Lichthärtender Schmelz-Dentin-Haftvermittler

Syntac Primer/Syntac Adhäsiv/Heliobond (Ivoclar Vivadent AG, Bendererstrasse 2, 9494 Schaan, Fürstentum Liechtenstein)

Kunststoff für Probenträger:

Ertacetal® C, POM C (Polyacetal Copolymer) (Angst + Pfister AG, Thurgauerstrasse 66, 8052 Zürich, Schweiz)

Magnetrührer:

Magnetrührer (Heidolph Instruments GmbH & Co. KG, Regionalbüro Schweiz, Kapellenstrasse 6, 4573 Lohn-Ammannsegg, Schweiz)

pH-Messung:

pH-Meter 827 pH lab (Metrohm AG, Oberdorfstrasse 68, 9101 Herisau, Schweiz)

pH-Elektrode 6.0259.100 (Metrohm AG, Oberdorfstrasse 68, 9101 Herisau, Schweiz)

pH-Pufferlösung 6.2307.23 pH 4/7 (Metrohm AG, Oberdorfstrasse 68, 9101 Herisau Schweiz)

Polymerisationslampe:

Bluephase (Ivoclar Vivadent AG, Bendererstrasse 2, 9494 Schaan, Fürstentum Lichtenstein)

Präzisionstrenner:

Isomet Präzisionstrenner mit 0.8 mm Trennscheibe, Buehler GmbH, 40599 Düsseldorf-Hassels, Deutschland.

Profilometer:

Taylor Hobson Presicion, Form Talysurf, ultra 5.14.9.70 (ELYT Messtechnik, Zürichstrasse 98, 8600 Dübendorf, Schweiz), Taster Shaftlänge 50mm, 2µm Diamant, 60° Öffnungswinkel.

Schleifpapier:

Siliziumcarbamidpapier/SiC: 1200, 2400 und 4000 Gritt (Struers GmbH, Weissenbunnenstrasse 41, Postfach 428, 8903 Birmensdorf, Schweiz)

Schneidemaschine und Zubehör:

Buehler, ISOMET® low speed saw (Prüfmaschinen AG, 8953 Dietikon)
Diamant Cut-off Wheel (Struers GmbH, Weissenbunnenstrasse 41, Postfach 428,
8903 Birmensdorf, Schweiz)

Software Oberflächenprofile

TH Ultra Version 5.14.9.70

Waage:

Analysenwaage Mettler AT261 DeltaRange® (Mettler Toledo, Im Langacher, 8606
Greifensee, Schweiz)

Zahnbürste:

Maschine: Professional Care 9900 TRIUMPH (Braun GmbH, Frankfurter Str. 145,
61476 Kronberg/Ts., Deutschland)

Bürstaufsatz: Oral-B Sensitive (Braun GmbH, Frankfurter Str. 145, 61476
Kronberg/Ts., Deutschland)

Zahnpaste:

Elmex® (GABA International AG, Grabetsmattweg, CH-4106 Therwil)